



**Rafael José  
Gonçalves Rufo**

**Ensaaios de caracterização mecânica das alvenarias  
de adobe: Flat-jack testing**





**Rafael José  
Gonçalves Rufo**

## **Ensaaios de caracterização mecânica das alvenarias de adobe: Flat-jack testing**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Doutor Aníbal Guimarães da Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.





*... às minhas, mais Belas, Marias*



## **o júri**

presidente

**Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim**

professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor João Paulo Miranda Guedes**

professor auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente**

professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa**

professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Em tudo na vida, o empreendimento individual é a pessoalização, mesmo que por vezes pareça inusitada por exultação do destino, do elemento colectivo...

Esta empreitada, por vezes árdua, contou com a colaboração espontânea e desinteressada de algumas pessoas que, na maioria dos casos, aprendi e estimei conhecer, para elas aqui fica o meu tributo.

Ao professor Aníbal Costa, pela sua orientação, apoio e, não menos importante, partilha de conhecimentos nem sempre ao alcance.

Ao professor Romeu Vicente, dedicado de ocupação, altruísta de vocação, orientador por disposição, devo um especial agradecimento, por... muito.

Um agradecimento especial ao solícito e sempre perspicaz António Figueiredo, com o qual adquiri e partilhei muito do trabalho realizado e informação obtida.

Por último, uma palavra para os proprietários dos edifícios onde foram realizados os ensaios que além de os terem disponibilizado de forma descomprometida auxiliaram em algumas tarefas logísticas.

Para o fim, porque são eles o começo, de tudo, aos meus...

Pais José Carlos e Ana Rosa

Irmãos Ricardo e Bruno

Sobrinho Gonçalo

Às minhas, mais Belas, Marias

Obrigado por sem saberem, serem...



## palavras-chave

Construção em terra, Adobe, Caracterização mecânica e propriedades, Ensaio de Macacos Planos.

## resumo

A arquitectura e a construção com terra têm um dos patrimónios mais diversificados da humanidade, sendo a terra um dos principais materiais de construção usados pelo Homem. Esta diversidade manifesta-se não só na variedade de património edificado mas também nas múltiplas técnicas construtivas aplicadas, sendo uma das mais conhecidas e difundidas o adobe.

Em Portugal, a construção em adobe está confinada sobretudo ao centro litoral, nomeadamente à região de Aveiro, sendo que dados divulgados pela autarquia de Aveiro apontam para que aproximadamente um quarto da construção existente na cidade seja em adobe. Pese embora a sua importância cultural, social e económica, a partir de meados do século XX, deparou-se com uma realidade desoladora: o abandono, demolição, o estado latente de ruína, a que foi deixado uma grande quantidade deste tipo de edificado, agravado, pela falta de sensibilidade para a preservação desta herança arquitectónica e pelo limitado conhecimento existente sobre as propriedades mecânicas e de comportamento estrutural de construções em adobe.

Neste contexto, o objectivo principal deste trabalho foi a caracterização de um conjunto de edifícios construídos com esta técnica na região de Aveiro, através da realização de uma campanha de ensaios de macacos planos, permitindo assim dessa forma determinar um padrão para as características que este ensaio semi-destrutivo permite obter: estado de tensão instalado, deformabilidade, tensão de resistência à compressão e o módulo de elasticidade.

Este trabalho foi também uma oportunidade para poder explorar algumas questões inerentes à aplicabilidade do ensaio de macacos planos, como ensaio a este tipo de paredes de alvenaria em adobe.

Foram ainda construídas duas paredes em laboratório, constituídas por blocos de adobe com dimensões e características diferentes, e realizados ensaios à flexão e compressão simples em provetes retirados de blocos de adobe iguais aos utilizados na construção de ambas as paredes. As duas paredes permitiram a realização de algumas experiências com o ensaio de macacos planos no intuito de avaliar, inicialmente, pelo ensaio simples, a influência do coeficiente de correcção  $K_a$  nos resultados e por fim, pelo ensaio duplo, as diferenças entre os resultados obtidos para a tensão de resistência à compressão na campanha de ensaios realizado no exterior e os ensaios realizados nas paredes.





**keywords**

Earth construction, Adobe, Mechanical characterization and properties, Flat-jack testing.

**abstract**

Earth architecture and construction is one of humanity's most diverse patrimony, being earth a principal construction material used by man. This diversity shows not only in the variety of built heritage but also in the multiple earth construction techniques, being adobe blocks technique the most known around the world.

In Portugal, the construction in adobe is most expressive near the centre coastline, namely to the region of Aveiro, where the city council statistics indicate that approximately a fourth of the existent constructions in the city are in adobe. The cultural, social and economic importance of these constructions have come across a sad reality, starting in the mid XX century: the desertion, demolition, the latent state of ruin that were left a great amount of buildings, worsened, with the lack of sensibility for the architectural preservation and inheritance, as well as the limited knowledge on the mechanical properties and of structural behavior of adobe constructions.

In this context, the main goal of this work was the characterization of a group of buildings built with adobe blocks in region of Aveiro, carrying out a experimental campaign using flat jack testing, allowing to determine a mean characteristics that this semi-destructive test allows to obtain: state of compressive stress, deformability, compressive strength and modulus of elasticity.

This work was also an opportunity to explore other aspects inherently related to the applicability of flat jack testing procedure to adobe block walls.

Two walls were built in the laboratory, constituted by adobe blocks with different dimensions and characteristics, and flexural and compression tests were carried out for small specimens extracted from the adobe blocks used in the construction of both walls. The two walls allowed to carry out parametric tests to evaluate the influence of the correction coefficient  $K_a$  in the test results, and finally for the double flat jack test, the difference between the results obtained for the tension stress state and the compression stress for the laboratory wall tests and the experimental campaign in the exterior.



**ÍNDICE GERAL****Agradecimentos****Resumo****Abstract**

<b>Índice geral da dissertação</b>	xv
------------------------------------	----

<b>Índice de figuras</b>	xviii
--------------------------	-------

<b>Índice de tabelas</b>	xxi
--------------------------	-----

<b>Lista de símbolos</b>	xxii
--------------------------	------

<b>Capítulo 1 Enquadramento, objectivos e organização da dissertação</b>	1
--	---

1.1 Enquadramento do tema	3
---------------------------	---

1.2 Objectivos	5
----------------	---

1.3 Estrutura e organização da dissertação	7
--	---

<b>Capítulo 2 Construção em adobe</b>	11
---------------------------------------	----

2.1 Arquitectura de terra	13
---------------------------	----

2.1.1 A terra como material de construção	13
---	----

2.1.2 Conceito, origens e diversidade	14
---------------------------------------	----

2.2 Técnicas de construção em terra	15
-------------------------------------	----

2.2.1 Taipa	17
-------------	----

2.2.2 Tabique	17
---------------	----

2.2.3 BTC	18
-----------	----

2.2.4 Adobe	18
-------------	----

2.2.4.1 Definição e origens	18
-----------------------------	----

2.2.4.2 Processo de fabrico	19
-----------------------------	----

2.2.4.3 O sistema construtivo em adobe e alguns aspectos característicos relacionados com a sua construção	21
--	----

2.2.4.4 Vantagens e potencialidades	25
-------------------------------------	----

2.2.4.5 Edificado na região de Aveiro	26
---------------------------------------	----

<b>Capítulo 3 Caracterização mecânica das alvenarias de adobe</b>	29
---	----

3.1 Enquadramento histórico legal	31
-----------------------------------	----

3.2 Descrição geral do ensaio com recurso a macacos planos	33
--	----

3.2.1 Equipamento necessário	33
------------------------------	----

3.2.2 Ensaio simples	35
----------------------	----

3.2.3 Ensaio duplo	37
--------------------	----

3.3	Premissas e condicionantes do ensaio	40
3.3.1	Premissas	40
3.3.2	Condicionantes	40
<b>Capítulo 4</b>	<b>Campanha de ensaios realizados em construções de adobe na região de Aveiro</b>	<b>43</b>
4.1	Enquadramento e objectivos	45
4.2	Descrição dos ensaios realizados	46
4.3	Apresentação e discussão dos resultados	51
4.3.1	Descrição dos edifícios onde foram realizados os ensaios	51
4.3.1.1	Centro urbano: da cidade de Aveiro	51
4.3.1.2	Meio rural: freguesia do Bunheiro	53
4.3.1.3	Periferia de centro urbano: freguesia de Oliveirinha	54
4.3.2	Ensaio simples	56
4.3.2.1	Cálculo da estimativa da tensão instalada	56
4.3.2.2	Trabalho de campo	57
4.3.2.3	Tratamento dos dados recolhidos	61
4.3.2.4	Comparação e discussão dos resultados	65
4.3.3	Ensaio duplo	67
4.3.3.1	Trabalho de campo	67
4.3.3.2	Tratamento dos dados recolhidos	68
4.3.3.3	Estimativa do módulo de elasticidade inicial ( $E_0$ ) e do coeficiente de <i>Poisson</i> ( $\nu$ )	73
4.3.3.4	Comparação e discussão dos resultados	74
4.4	Aspectos relacionados com o ensaio de macacos planos aplicados a paredes de alvenaria de adobe	76
4.4.1	Remoção da camada de revestimento	76
4.4.2	Aplicação das miras	77
4.4.3	Abertura dos rasgos	78
4.4.4	Registo da área máxima carregada entre o ensaio simples e o ensaio duplo	79
4.4.5	Registo da fissuração	80
4.4.6	O coeficiente de correcção $K_m$	81
<b>Capítulo 5</b>	<b>Análise experimental</b>	<b>83</b>
5.1	Enquadramento e objectivos	85
5.2	Ensaio de macacos planos realizados nas paredes construídas em laboratório	86
5.2.1	Construção das paredes	86
5.2.2	Ensaio simples: estudo da influência do coeficiente $K_a$	88
5.2.2.1	Procedimento 1: tensão instalada estimada por cálculo expedito (parede 2)	89

5.2.2.2 Procedimento 2: tensão instalada estimada pelo ensaio simples (parede 2)	90
5.2.2.3 Comparação e discussão dos resultados	93
5.2.3 Ensaio duplo	94
5.3 Ensaio de caracterização mecânica do adobe	97
5.4 Resistência à compressão das paredes de alvenaria de adobe pelo EC6	99
5.5 Comparação e discussão dos resultados em termos de resistência à compressão	102
<b>Capítulo 6 Conclusões, comentários finais e perspectivas de trabalho futuro</b>	<b>105</b>
6.1 Síntese do trabalho realizado	107
6.1.1 Breve descrição do trabalho realizado	107
6.1.2 Avaliação dos resultados	108
6.1.3 Principais conclusões	109
6.2 Perspectivas de trabalho futuro	113
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>115</b>
 <b>Anexos</b>	
 Anexo A – Ensaio de caracterização mecânica: ensaio simples	
 Anexo B – Ensaio de caracterização mecânica: ensaio duplo	
 Anexo C – Ensaio simples realizado na parede 2 no âmbito do estudo da influência do coeficiente $K_a$	

**ÍNDICE DE FIGURAS****Capítulo 2 Construção em adobe**

Figura 1:	Exemplos da diversidade e universalidade das construções em terra (...).	15
Figura 2:	Distribuição geográfica das principais técnicas de construção em terra [Jorge <i>et al</i> , 2005].	16
Figura 3:	Exemplos de edificações construídas com diferentes técnicas de construção em terra (...).	17
Figura 4:	Etapas do fabrico dos blocos de adobe (...).	19
Figura 5:	Fundações em pedra sob paredes de alvenaria de adobe [Pereira, 2008].	21
Figura 6:	Exemplos de gateiras, fundamentais no processo de ventilação.	22
Figura 7:	Exemplos de degradação dos revestimentos exteriores em edifícios de adobe.	23
Figura 8:	Exemplos de embasamentos.	24
Figura 9:	Exemplos de coberturas e pormenores de construção (...).	25
Figura 10:	Exemplos de adobes de fraca qualidade (...) [Pereira, 2008].	27
Figura 11:	Alguns exemplos de edificações na região de Aveiro construídos em adobe.	28

**Capítulo 3 Caracterização mecânica das alvenarias de adobe**

Figura 12:	Equipamento fundamental à realização dos ensaios simples e duplos.	33
Figura 13:	Macacos planos usados na campanha de ensaios: (...).	34
Figura 14:	Exemplos de secções de macacos planos: (...) [Lourenço e Gregorczyk, 2008].	35
Figura 15:	Esquema do faseamento do ensaio simples: (...) [ Lourenço e Gregorczyk, 2008].	36
Figura 16:	Imagens do faseamento do ensaio simples: (...).	36
Figura 17:	Imagens do faseamento do ensaio duplo: (...).	38

**Capítulo 4 Campanha de ensaios realizados em construções de adobe na região de Aveiro**

Figura 18:	Localização dos edifícios 1 e 2: (...).	47
Figura 19:	Localização do edifício 3: (...).	48
Figura 20:	Localização do edifício 4: (...).	48
Figura 21:	Mapa com vista parcial da região de Aveiro e localização dos quatro edifícios ensaiados [Google maps, 2010].	49
Figura 22:	Vistas parciais dos edifícios 1 e 2 (Rua Aires Barbosa no centro da cidade de Aveiro).	52
Figura 23:	Vistas parciais do edifício 3: (...).	53
Figura 24:	Vistas parciais do exterior e interior do edifício 4: (...).	55
Figura 25:	Disposição dos alinhamentos verticais nos ensaios simples 1-3-5-9.	60
Figura 26:	Registos obtidos relativos à área máxima carregada ( $K_a$ ) nos ensaios simples 1-3-5-9.	62

Figura 27:	Gráficos com os deslocamentos relativos de cada alinhamento com o identificação do valor estimado da tensão instalada.	64
Figura 28:	Singularidades observadas no ensaio simples: (...).	67
Figura 29:	Imagens com a distribuição dos potenciômetros nos ensaios duplos: (...).	68
Figura 30:	Registos obtidos relativos à área máxima carregada ( $K_a$ ) nos ensaios duplos 1-3-5-9 (macaco plano superior).	69
Figura 31:	Gráficos com registos em termos de tensão-extensão dos ensaios duplos 1-3-5-9.	71
Figura 32:	Gráficos com registos em termos de tensão-extensão média obtidos nos ensaios duplos 1-3-5-9.	72
Figura 33:	Estimativa do módulo de elasticidade ( $E_0$ ) da parede do ensaio duplo 8.	73
Figura 34:	Aplicação de miras sobre tinta: (...).	76
Figura 35:	Colagem das miras para o ensaio simples: (...).	77
Figura 36:	Dificuldades na abertura de rasgos para inserção dos macacos planos: (...).	78
Figura 37:	Aumento do volume dos macacos planos depois de pressurizados e a consequente dificuldade em retirá-los sem danificar.	79
Figura 38:	Imagens com registos de fissuração e destacamentos de material das paredes.	80

## Capítulo 5 Análise experimental

Figura 39:	Blocos de adobe usados na construção das paredes 1 (a) e 2 (b).	86
Figura 40:	Construção da parede 2.	87
Figura 41:	Paredes de blocos de adobe construídas no laboratório do DEC-UA: (...).	87
Figura 42:	Sistema de aplicação de cargas verticais.	89
Figura 43:	Ensaio simples realizados na parede 2: (...).	92
Figura 44:	Registos obtidos relativos à área máxima carregada ( $K_a$ ) nos vários ciclos de carga da parede 2.	92
Figura 45:	Relação entre os $K_a$ 's determinados pelo ensaio simples e por cálculo (parede 2).	94
Figura 46:	Registos obtidos relativos à área máxima carregada ( $K_a$ ) no ensaio duplo da parede 1.	95
Figura 47:	Resumo dos resultados do ensaio duplo da parede 1.	95
Figura 48:	Registos obtidos relativos à área máxima carregada ( $K_a$ ) no ensaio duplo da parede 2.	96
Figura 49:	Resumo dos resultados do ensaio duplo da parede 2.	96
Figura 50:	Imagens dos ensaios duplos realizados nas paredes 1 e 2.	97
Figura 51:	Imagens dos ensaios realizados à flexão e compressão simples: (...).	99

## Anexo A Ensaio de caracterização mecânica: ensaios simples

Figura A1:	Esquema com a organização da informação para o ensaio simples.	A-1
Figura A2:	Resultados do ensaio simples 2.	A-2
Figura A3:	Resultados do ensaio simples 4.	A-2

Figura A4: Resultados do ensaio simples 6.	A-3
Figura A5: Resultados do ensaio simples 7.	A-3
Figura A6: Resultados do ensaio simples 8.	A-4

#### **Anexo B    Ensaios de caracterização mecânica: ensaios duplos**

Figura B1: Esquema com a organização da informação para o ensaio duplo.	B-1
Figura B2: Resultados do ensaio duplo 2.	B-2
Figura B3: Resultados do ensaio duplo 4.	B-3
Figura B4: Resultados do ensaio duplo 6.	B-4
Figura B5: Resultados do ensaio duplo 7.	B-5
Figura B6: Resultados do ensaio duplo 8.	B-6

#### **Anexo C    Ensaios simples realizados na parede 2 no âmbito do estudo da influência do coeficiente correctivo $K_a$**

Figura C1: Esquema com a organização da informação para o ensaio simples nos diversos ciclos de carga.	C-1
Figura C2: Resultados do ensaio simples do 1º ciclo de carga 15.20kN.	C-2
Figura C3: Resultados do ensaio simples do 2º ciclo de carga 30.50kN.	C-2
Figura C4: Resultados do ensaio simples do 3º ciclo de carga 45.40kN.	C-3
Figura C5: Resultados do ensaio simples do 4º ciclo de carga 61.00kN.	C-3
Figura C6: Resultados do ensaio simples do 5º ciclo de carga 75.20kN.	C-4



## ÍNDICE DE TABELAS

### Capítulo 4 Campanha de ensaios realizados em construções de adobe na região de Aveiro

Tabela 1:	Resumo da quantidade de ensaios de macacos planos simples e duplos realizados por edifício.	50
Tabela 2:	Leituras das distâncias entre miras, nas várias fases dos ensaios simples 1 e 3.	58
Tabela 3:	Leituras das distâncias entre miras, nas várias fases dos ensaios simples 5 e 9.	59
Tabela 4:	Valores dos coeficientes de correcção $K_m$ e $K_a$ nos ensaios simples 1-3-5-9.	63
Tabela 5:	Quadro resumo das tensões instaladas, estimadas por cálculo e pelos ensaios simples nos nove ensaios.	65
Tabela 6:	Valores dos coeficientes de correcção $K_m$ e $K_a$ nos macacos planos inferiores e superiores dos ensaios 1-3-5-9.	70
Tabela 7:	Módulos de elasticidade ( $E_0$ ) e coeficientes de Poisson ( $\nu$ ) obtidos dos ensaios duplos.	74
Tabela 8:	Principais resultados obtidos nos ensaios simples e duplos.	74
Tabela 9:	Relação obtida entre os registos dos ensaios simples e duplos [Vicente, 2008].	80
Tabela 10:	Dados obtidos no procedimento de calibração do macaco plano rectangular MR_2.	81

### Capítulo 5 Análise experimental

Tabela 11:	Valores das $\sigma_i$ quando aplicadas as cargas nos diversos ciclos de carga (parede 2).	90
Tabela 12:	Relação dos coeficientes de correcção $K_a$ obtidos nos ensaios simples da parede 2.	93
Tabela 13:	Resistência à flexão e compressão de provetes extraídos de blocos de adobe da parede 1.	98
Tabela 14:	Resistência à flexão e compressão de provetes extraídos de blocos de adobe da parede 2.	98
Tabela 15:	Resumo dos resultados em termos de resistência à compressão.	103

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_c$	Área de carregamento dos macacos planos obtida através da leitura dos registos com recurso a papel químico
$d$	Distância entre miras que definem um alinhamento vertical
$d_i$	Distância inicial entre miras que definem um alinhamento vertical
$E_0$	Módulo de elasticidade inicial
$f_b$	Resistência à compressão dos elementos de alvenaria
$f_m$	Resistência à compressão da argamassa utilizada na alvenaria
$f_k$	Resistência à compressão característica da alvenaria
$K$	Coefficiente que depende do tipo de elementos, da argamassa e da parede
$k_a$	Constante que traduz a relação entre a área do macaco e a área do rasgo (de acordo com a norma ASTM C1197-91 [1991])
$k_m$	Constante que reflecte a rigidez do macaco plano e o atrito do sistema hidráulico, determinada no procedimento de calibração (de acordo com a norma ASTM C1197-91 [1991])
$L_f$	Distância final medida entre pontos de controlo
$L_i$	Distância inicial medida entre pontos de controlo
$p$	Pressão medida no manómetro da bomba que pressuriza os macacos
$p_i$	Pressão medida no manómetro da bomba que pressuriza os macacos antes do início das leituras das distâncias entre miras
$p_f$	Pressão medida no manómetro da bomba que pressuriza os macacos após as leituras das distâncias entre miras
$P_{act}$	Peso dos elementos que formam o actuador
$P_i$	Numeração dos provetes utilizados nos ensaios à flexão e compressão simples
$\alpha$	Expoente tal que [0.55;0.75]: argamassa convencional – 0.65: [EC6]
$\beta$	Expoente tal que [0.25;0.30]: argamassa convencional – 0.25: [EC6]
$\varepsilon$	Extensão média estimada
$\varepsilon_L$	Extensão lateral
$\varepsilon_V$	Extensão vertical
$\gamma$	Peso específico médio de alguns materiais
$\nu$	Coefficiente de <i>Poisson</i>
$\sigma_m$	Tensão média (corrigida)
$\sigma_i$	Tensão normal instalada
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Tensão máxima atingida no ensaio

## **Capítulo 1**

### **Enquadramento, objectivos e organização da dissertação**

---

---

## **Capítulo 1 Enquadramento, objectivos e organização da dissertação**

1.1 Enquadramento do tema

1.2 Objectivos

1.3 Estrutura e organização da dissertação

---

(...)

*A musical ordem do espaço, a manifesta verdade da pedra, a concreta beleza do chão subindo os últimos degraus, a luminosa contenção da cal, o muro compacto e certo contra toda a ostentação, a refreada e contínua serena linha abraçando o ritmo do ar, a branca Architectura e nua até aos ossos (...)*

( Eugénio de Andrade )

## **1 Enquadramento, objectivos e organização da dissertação**

### **1.1 Enquadramento do tema**

A arquitectura e a construção com terra têm um dos patrimónios mais diversificados e universais da humanidade, sendo a terra, desde tempos mais remotos, um dos principais materiais de construção usado pelo Homem. A terra, utilizada desde a antiguidade até aos dias de hoje, é um material bastante acessível, um recurso inesgotável, e que encerra no seu processo construtivo vantagens insofismáveis, como são a facilidade de ser conformada, moldada, e o facto de poder ser seca naturalmente, sem a necessidade do emprego de energia.

A construção com terra possibilita uma infinidade de aplicações, sendo utilizada nos mais diversos tipos de edificações, desde a comum habitação, a palácios, fortificações, igrejas, aglomerados urbanos, etc. Esta diversidade manifesta-se não só na variedade de património edificado mas também nas múltiplas técnicas construtivas aplicadas, sendo as mais conhecidas e aplicadas a taipa, o tabique e o adobe. Não obstante esta diversidade, é indispensável o domínio do conhecimento da terra e a adequação das técnicas a aplicar ao melhor resultado pretendido.

A natural evolução das técnicas de construção de terra em Portugal fez-se obviamente com miscigenações mas sem uma clara e directa raiz, identidade, de difícil atribuição. Também, um pouco à semelhança da realidade do resto do mundo, a terra foi, ao longo de várias gerações, não só para as populações com baixos recursos económicos, o único material acessível e disponível para a construção de habitação própria e outras construções no espaço urbano e rural.

Pese embora a importância cultural, social e económica desta situação, bem representada na diversidade e divulgação da construção em terra um pouco por todo o país, depara-se com uma realidade desoladora a partir de meados do século XX: o abandono, o estado latente de ruína, em que se encontra uma grande quantidade, a maior parte, do edificado em terra no país. Contribuíram decisivamente para esta situação diversas razões: o abandono dos campos e as migrações das populações que aí construíam em terra; um certo desenvolvimento económico e tecnológico a par da disseminação de técnicas que acompanharam o crescimento demográfico e a consequente aculturação das últimas gerações; por fim, mas não menos importante, coincidindo com a restauração do regime democrático em Portugal, o facto de para as novas gerações a ideia de construir a sua própria habitação em terra ser um sinal de pobreza e subdesenvolvimento, conotando desta forma, bem portuguesa aliás, a construção em terra de socialmente negativa, acentuando o seu processo de rejeição e consequente abandono.

Em Portugal, a construção em adobe está confinada sobretudo ao centro litoral, nomeadamente à região de Aveiro, tão abundante em água, elemento importante neste tipo de construção. Impulsionada no final do século XIX, teve o seu apogeu na primeira metade do século XX, mas, em virtude das razões mencionadas, foi sendo gradualmente abandonada a partir dos anos sessenta e setenta.

Mesmo numa área relativamente diminuta, à escala nacional, é de notar a sua enorme heterogeneidade em termos de tipologia, confirmada pelos inúmeros levantamentos realizados e conforme dados divulgados pela autarquia de Aveiro, que apontam também para o facto relevante de um quarto da construção existente na cidade ser em adobe, fazendo parte do seu conjunto edificado, casas de habitação própria e colectiva, grandes mansões, igrejas, casas de espectáculos, muros e poços de água.

Apesar de se reconhecer uma acentuada degradação e abandono deste património edificado, assiste-se contudo actualmente a uma crescente consciencialização da sociedade para a necessidade da preservação, em muitos casos mesmo a reabilitação, deste património. Neste contexto, atendendo à actual tendência de aumento significativo das acções de reabilitação urbana, é importante desenvolver modelos, metodologias e ferramentas de observação, registo e diagnóstico de edifícios representativos desta técnica de construção que permitam apoiar os

projectistas, promotores imobiliários, proprietários, decisores políticos, bem como todos os outros agentes envolvidos directa ou indirectamente no processo de reabilitação urbana, tendo em consideração a especificidade dos objectivos de cada interveniente.

A reabilitação urbana deste tipo de edificado apresenta desde logo inúmeros obstáculos, ou não fosse este um tipo de intervenção com um grau de dificuldade muito elevado, mas não deixa por outro lado de ser um grande desafio. Um dos principais obstáculos resulta do facto de haver pouca informação disponível sobre as propriedades e características mecânicas destas construções, sendo para tal necessário a realização de investigação adequada tendo em vista o seu conhecimento, destacando-se entre essas propriedades: o módulo de elasticidade, a resistência à compressão, a resistência à tracção, a resistência ao corte e a composição granulométrica. Assim, a caracterização do comportamento estrutural e mecânico destas construções, nomeadamente ao nível das suas paredes resistentes em alvenaria de adobe, é um instrumento fundamental na caracterização e avaliação do estado de segurança deste tipo de construções, sendo portanto de valiosa utilidade no apoio à realização de projectos de reabilitação e reforço.

A informação relacionada com a caracterização mecânica, entre outras, deste tipo de construções tem sido conseguida através da realização de ensaios destrutivos e recolha de amostras. O ensaio de macacos planos, sendo um ensaio semi-destrutivo (também considerado por muitos não-destrutivo), permite a recolha de algumas destas características no local sem danificar e descaracterizar o edificado e principalmente sem o colocar em risco de estabilidade, sendo, portanto, evidentes as vantagens deste ensaio quando comparadas com as outras técnicas de recolha deste tipo de informação específica.

## **1.2 Objectivos**

Inserido no âmbito dos abrangentes e dedicados trabalhos que vêm sido desenvolvidos pelo departamento de engenharia civil da Universidade de Aveiro (DEC-UA) na temática da reabilitação de edifícios, nomeadamente ao nível das construções em adobe, que, de alguma forma, caracterizam e representam uma elevada fracção do património da cidade e região de Aveiro, este trabalho de investigação pretende adquirir e criar novos dados, que sustentem uma avaliação mais

rigorosa do estado de tensão e da caracterização mecânica dos edifícios em adobe, permitindo desta forma um melhoramento contínuo e sólido das estratégias e metodologias a aplicar no âmbito da reabilitação urbana.

Pese embora os inúmeros estudos já desenvolvidos pelo DEC-UA neste domínio, a concepção de soluções adequadas de intervenção na recuperação e reabilitação deste tipo de edificado requer algumas informações fundamentais, designadamente ao nível das características mecânicas tais como a resistência à compressão e o módulo de elasticidade das paredes resistentes de alvenaria. O ensaio de macacos planos como ensaio semi-destrutivo, realizado no local da construção que se pretende observar, permite a obtenção destas características.

O objectivo primordial deste trabalho será a caracterização do maior número possível de edifícios, construídos com esta técnica e que ainda apresentem conforme indícios que venha a ser recolhidos nos diversos locais condições estruturais estáveis, através da realização de ensaios de macacos planos, permitindo desta forma determinar uma tipologia, um padrão, para as características que este ensaio permite obter. Não obstante, esta é uma oportunidade para poder explorar, paralelamente, algumas questões relacionadas com a construção em adobe assim como a utilização do ensaio de macacos planos, como ensaio, e sobretudo como ensaio aplicado a este tipo de paredes resistentes de alvenaria. Os objectivos são os seguintes:

- i) Realizar um conjunto de ensaios, com uma base característica suficientemente alargada, de macacos planos em edificações com boas condições estruturais e de habitabilidade, construídas em alvenaria de adobe, de forma a determinar um possível padrão para as características de comportamento mecânico deste tipo de construção, designadamente: resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de *Poisson*;
- ii) Avaliar o estado de tensão instalada nas paredes, ao nível da secção da parede onde é realizado o ensaio, através da realização de ensaios de macacos planos simples (tensão instalada estimada pelo ensaio), permitindo desta forma comparar os resultados obtidos com os resultados expectáveis obtidos por cálculo (tensão instalada estimada por cálculo). Breve análise e discussão dos principais desvios encontrados;
- iii) Identificar e analisar alguns pressupostos e condicionantes intrínsecos ao ensaio de macacos planos, sobretudo quando aplicados a construções em alvenaria de adobe;



- iv) Realizar um conjunto de actividades experimentais, no laboratório do DEC-UA, relacionadas com a obtenção de alguns parâmetros e características do ensaio de macacos planos e do adobe. Para tal, foram recolhidos em dois edifícios já parcialmente demolidos (nenhum dos edifícios nos quais foram realizados os ensaios) uma quantidade de blocos de adobe (blocos com dimensões e características diferentes) suficiente para a realização de duas paredes que permitam a realização de ensaios de macacos planos simples e duplos;

Pretende-se com a realização dos dois ensaios simples estudar a influência que tem o coeficiente de correcção  $K_a$  nos resultados finais, nomeadamente quando comparadas as tensões instaladas estimadas pelo ensaio e por cálculo;

Pretende-se com a realização dos dois ensaios duplos comparar os resultados obtidos nestes ensaios para a resistência à compressão com os resultados obtidos através da realização de ensaios à compressão uniaxial em provetes extraídos por carotagem dos mesmos blocos de adobe com os quais foram realizadas as duas paredes.

### **1.3 Estrutura e organização da dissertação**

A estrutura da dissertação está dividida em seis capítulos e dois anexos e está organizada da seguinte forma:

- i) No presente capítulo, relativo à introdução da dissertação, são apresentadas as motivações do trabalho, definidos os objectivos e estratégia adoptada assim como explicitada a estrutura e organização da dissertação;
- ii) O segundo capítulo é inteiramente dedicado ao enquadramento necessário da realidade da construção em adobe. Como uma das principais técnicas de construção em terra, sendo o conjunto do seu edificado parte integrante da denominada Arquitectura de terra, é feita uma referência às características da terra como material de construção assim como apresentadas, de forma sucinta, as outras técnicas de construção em terra conhecidas;

Na segunda parte do capítulo são abordadas algumas questões directamente relacionadas com a construção em adobe: definição e origens, o processo de fabrico dos blocos de adobe, descrição do sistema construtivo assim como alguns aspectos e características relacionadas, as vantagens e potencialidades deste tipo de construção e por fim um apontamento sobre a implantação e caracterização do edificado na região de Aveiro;

- iii) O terceiro capítulo incide exclusivamente sobre a apresentação do tipo de caracterização mecânica que vai ser utilizada como principal instrumento de trabalho desta investigação, o *flat-jack testing*, de ora em diante denominado ensaio de macacos planos. Além do necessário enquadramento do ensaio, quer ao nível da sua origem quer em termos de suporte legal, é descrito todo o seu processo de execução nomeadamente: o ensaio simples e o ensaio duplo. São ainda abordadas algumas questões importantes relacionadas com as premissas e condicionantes necessárias ter em consideração no ensaio;
- iv) O quarto capítulo é o mais vasto e aquele sobre o qual versa o principal objectivo desta dissertação: a caracterização mecânica de alvenarias de adobe com recurso ao ensaio de macacos planos, com efeito na região de Aveiro onde está implantado um vasto património, talvez o maior, deste tipo de edificado. Identificados três tipos de edificado de construção em adobe da região, escolheu-se de forma criteriosa um (dois no caso do edificado dos centros urbanos) edifício que representasse cada um dos três tipos, tendo sido também descritos quanto às suas principais características;

Este capítulo apresenta de forma detalhada quatro dos nove ensaios de macacos planos, simples e duplos, que foram realizados nesta campanha, sendo que os restantes cinco são apresentados de forma sucinta e resumida nos quadros dos anexos A (ensaios simples) e B (ensaios duplos). Além da explanação dos resultados obtidos, são também apresentados pormenores e características de cada um dos ensaios assim como a comparação ao nível dos resultados entre eles;

Por fim é dedicado parte deste capítulo (sub-capítulo 4.4) a analisar alguns dos aspectos e particularidades relacionados com o ensaio de macacos planos e em especial quando

aplicado a paredes resistentes em alvenaria de adobe. Este sub-capítulo assume algum relevo porquanto a execução deste tipo de ensaios neste tipo de paredes resistentes não é muito usual, conhecendo-se muito poucos trabalhos neste âmbito;

- v) O capítulo cinco tem incidência sobre duas questões em particular relacionadas com o ensaio de macacos planos: a influência do coeficiente de correcção  $K_a$  nos resultados obtidos para a tensão estimada instalada através do ensaio simples, quando comparados com a tensão estimada instalada por cálculo; e a comparação dos resultados obtidos para o parâmetro mecânico da resistência à compressão pelo ensaio duplo e pelo ensaio à compressão axial de provetes. Para que fosse possível a realização destas experiências foram executadas no laboratório do DEC-UA duas paredes de alvenaria de blocos de adobe com dimensões e características distintas;

Ainda neste capítulo é feita uma abordagem ao Eurocódigo 6 e nomeadamente à forma de cálculo da resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural, no caso concreto das paredes de alvenaria de adobe construídas para o efeito. Serão feitas as necessárias e possíveis comparações entre os diversos resultados obtidos: análise experimental e os ensaios realizados em campo;

- vi) Finalmente, no sexto e último capítulo, resumem-se as principais conclusões deste trabalho, capítulo a capítulo, fornecendo ainda algumas perspectivas possíveis de futuras investigações que visem melhorar o conhecimento e aplicabilidade dos resultados obtidos.

Face à extensão de informação complementar relevante do trabalho desenvolvido e no sentido de proporcionar informação mais detalhada, criaram-se os seguintes anexos: o Anexo A – Ensaio de caracterização mecânica: ensaios simples, o Anexo B – Ensaio de caracterização mecânica: ensaios duplos, ambos reúnem informação relativa aos cinco (dos nove) ensaios que não foram apresentados no corpo da dissertação, e ainda o Anexo C relativo à compilação de todos os dados e resultados obtidos nos ensaios simples realizados na parede 2, construída no laboratório do DEC-UA, para cada um dos ciclos de carga aplicados, no âmbito do estudo da influência do coeficiente correctivo  $K_a$ .



## Capítulo 2

### Construção em adobe

---

---

## **Capítulo 2 Construção em adobe**

### **2.1 Arquitectura de terra**

#### **2.1.1 A terra como material de construção**

#### **2.1.2 Conceito, origens e diversidade**

### **2.2 Técnicas de construção em terra**

#### **2.2.1 Taipa**

#### **2.2.2 Tabique**

#### **2.2.3 BTC**

#### **2.2.4 Adobe**

##### **2.2.4.1 Definição e origens**

##### **2.2.4.2 Processo de fabrico**

##### **2.2.4.3 O sistema construtivo em adobe e alguns aspectos característicos relacionados com a sua construção**

##### **2.2.4.4 Vantagens e potencialidades**

##### **2.2.4.5 Edificado na região de Aveiro**

---

(...)

*Cravavam forquilhas no chão e, tecendo os vãos com ramos e cobrindo-os de lama, formavam as paredes. Outros, cortando torrões de raízes e secando-os, iam elevando as paredes, travadas com alguns madeiros, e para se precaverem das chuvas e sóis, cobriam-nos de canas e folhas. Mas porque os telhados destes não podiam sofrer chuvas continuadas, elevavam cavaletes e cobriam de lama os telhões inclinados, que assim iam desviando as águas. (...)*

*( Los Diez Libros de Arquitectura, de M. Vitruvio Polión )*

## **2 Construção em adobe**

### **2.1 Arquitectura de terra**

#### **2.1.1 A terra como material de construção**

A terra é um material que existe em (quase) todo o mundo e como tal as suas características intrínsecas variam quase tão infinitamente quanto infinitos são os locais onde pode ser encontrada. A terra como material construtivo tem a sua origem no momento em que se descobre que, depois de humedecida, no seu processo de secagem endurece alcançando uma importante resistência à compressão, não sendo negligenciável portanto [Correia, 2006].

A sua extracção é feita em terrenos que, por sua vez, não são constituídos exclusivamente por terra adequada à construção, nomeadamente a sua camada superficial [30 a 50 cm] que é constituída por uma quantidade abundante de matéria orgânica, não indicada para a utilização na construção em terra devido ao facto de se deteriorar rapidamente, com riscos estruturais daí decorrentes. De uma forma genérica e relativamente ao seu aspecto físico, pode-se considerar que a terra é constituída pela mistura de quatro elementos, classificados de acordo com as suas dimensões, e que podem ser definidos como inertes ou activos: a gravilha ou grava [5 a 100 mm], a areia (grossa, média e fina) [0.06 a 5 mm], o silte [0.002 a 0.06 mm] e o elemento activo a argila [< 0.002 mm]. É a diferente proporção de cada um destes elementos na constituição de um qualquer tipo de terra que a torna diferente de todas as outras. É possível a utilização de todo o tipo de terra na construção, embora,

para tal, seja indispensável o domínio do conhecimento das características da terra assim como das técnicas construtivas adequa de forma a obter o melhor resultado pretendido.

### 2.1.2 Conceito, origens e diversidade

#### Conceito

Existem várias formas de definir a arquitectura de terra, consoante a perspectiva e o alcance que se pretenda com essa mesma definição. Neste âmbito, define-se a arquitectura de terra como o processo de produção arquitectónica cujo principal material empregue é a terra, a *terra crua*. Não obstante ao que já foi referido sobre as características da terra, convém deixar claro que o termo agora empregue *terra crua* não substitui o já exposto, mas sobretudo realça o facto de que a terra empregue não é sujeita a qualquer processo de transformação das suas características intrínsecas, designadamente por processo de cozimento.

#### Origens

A *terra crua*, como material construtivo, é, desde tempos remotos, usada pelo Homem nas suas mais diversas formas de construção, pois pode ser facilmente escavada, modelada, prensada, recortada e, sobretudo, pode secar naturalmente. A arte de construir é uma actividade relativamente recente na história da humanidade, havendo diversos estudos arqueológicos que o atestam, indicando construções em terra com aproximadamente dez mil anos, nomeadamente em África e no Médio Oriente. Na altura o homem já era capaz de fazer pinturas, jóias, artefactos de caça e pesca, quando, com o advento da agricultura, sentiu necessidade de construir locais para guardar as colheitas. Estava dado o mote, mesmo que inusitado à data, para o aparecimento dos primeiros aglomerados e cidades, sendo que os primeiros materiais a ser utilizados nestas construções foram os que a natureza tinha à disposição do homem: a pedra, a palha, as árvores e sem dúvida a terra. Foi então com recurso a estes materiais que o homem foi capaz de erigir belas e eficazes obras de engenharia, como são exemplos e testemunhas do tempo, entre outras, as magníficas pirâmides e outros monumentos egípcios [Correia, 2006].

#### Diversidade

A arquitectura e a construção com terra têm um dos patrimónios mais diversificados e universais da Humanidade, tendo sido utilizada na antiguidade como ainda o é na actualidade. Segundo as



*Nações Unidas (ONU)*, cerca de sessenta por cento da actual população mundial vive em estruturas construídas em terra, com especial enfoque para as habitações das regiões subdesenvolvidas.

Para uma ideia da sua riqueza e diversidade citam-se os principais dados recolhidos:

- i) dez por cento da "Lista do Património Cultural da Humanidade" é constituído por monumentos representativos da Arquitectura de Terra;
- ii) dezasseis dos monumentos mundiais incluídos na "Lista dos 100 Monumentos em Perigo" do *World Monument Watch* estão construídos com terra;
- iii) cinquenta e sete por cento da "Lista do Património Cultural em Perigo" do *World Heritage Center* consiste em sítios de Arquitectura de Terra.

As tradições vernáculas perpetuam-se independentemente do país onde são praticadas, pois, na técnica de construção em terra, não é necessária a utilização de materiais manufacturados nem a utilização de instrumentos mecanizados. Mais importante ainda, é o facto da arquitectura vernácula de terra se adaptar ao clima, à cultura e ao conhecimento local. De forma a ilustrar a diversidade e universalidade da arquitectura de terra, apresenta-se na figura 1 alguns dos seus exemplos mais conhecidos e representativos:



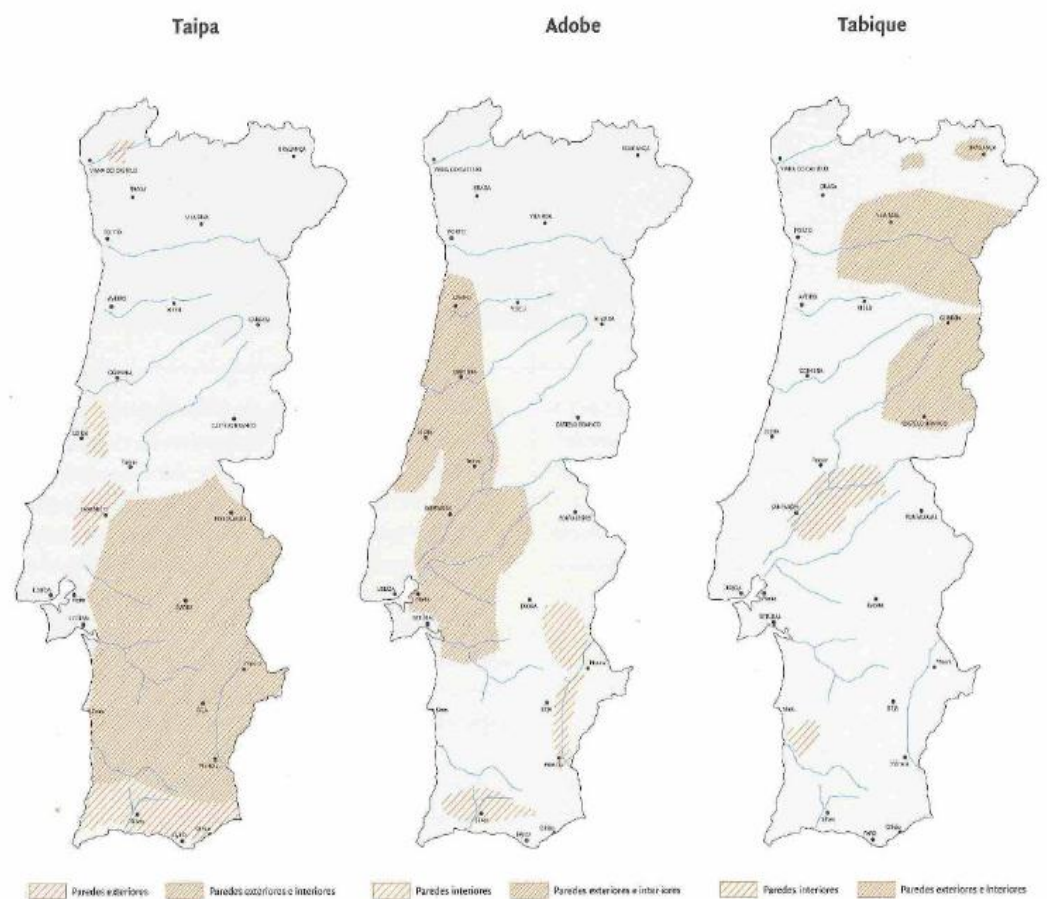
**Figura 1:** Exemplos da diversidade e universalidade das construções em terra: a) Mesquita de Djénné [Order Fine Art Print, 2008]; b) Muralha da China [Solomon, 2008]; c) Cidade de Arg-é Bam [Wikipédia, 2009].

---

## 2.2 Técnicas de construção em terra

Disseminadas um pouco por todo o mundo, também presentes no nosso território, são conhecidas diversas técnicas de construção em terra, diferenciadas quer pelas suas especificidades quer pelos

resultados que se pretendem atingir com cada uma delas. As técnicas mais conhecidas de construção em terra são: a taipa, o tabique e o adobe, distribuídas geograficamente da forma que ilustra o mapa da figura 2.

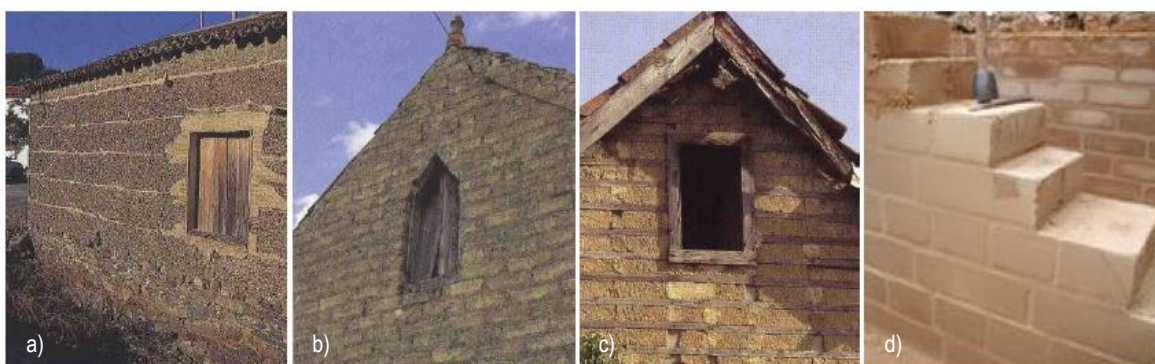


**Figura 2:** Distribuição geográfica das principais técnicas de construção em terra [Jorge et al, 2005].

A informação que se obtém destes mapas, pese embora à data da sua recolha estes ainda estejam em actualização, indica com clareza que a construção em taipa predomina largamente a sul do território, o adobe sobretudo no centro e o tabique em algumas áreas do interior norte. Mais recentemente surgiu a técnica dos blocos de terra compactada, também denominada por BTC, já com alguma implantação no nosso país.

### 2.2.1 Taipa

Entre as várias técnicas de construção em terra, conforme ilustra a figura 3, a taipa será provavelmente a mais disseminada em Portugal, sendo o termo taipa tradicionalmente utilizado para designar indistintamente tanto o material como o processo de construção que consiste basicamente na execução de grandes blocos de terra moldada *in-situ*, compactada com pisões em camadas delgadas, dentro de cofragens amovíveis [Rocha, 2005]. Antigamente a terra era apiloada, dentro dos taipais, pelos taapeiros com recurso a ferramentas artesanais (maço) e os painéis de cofragem e restantes peças que a constituíam eram exclusivamente de madeira, sendo actualmente a maior parte das peças, que constituem o sistema de cofragem, metálicas, incluindo os próprios painéis, proporcionando assim um maior número de utilizações da cofragem e o emprego de uma maior energia de compactação da terra dentro dos moldes.



**Figura 3:** Exemplos de edificações construídas com diferentes técnicas de construção em terra:  
a) taipa; b) blocos de adobe; c) tabique; d) BTC's.

### 2.2.2 Tabique

O tabique é uma técnica de construção em terra que tem como pressuposto fundamental a existência de um suporte estrutural em madeira (entrancado de madeira, cana ou vime), sendo a terra colocada no preenchimento dos vazios formados pela madeira. São conhecidas diversas formas da disposição da estrutura de madeira no interior das paredes, sendo um dos exemplos observado na figura 3c. Esta técnica foi muito usada na região interior Norte, no Douro e também na Baixa Pombalina, nomeadamente em paredes divisórias não resistentes.

### 2.2.3 BTC

Os blocos de terra compactada, também conhecidos por blocos de terra comprimida, são como que um moderno descendente do bloco de terra adensada, o adobe, diferindo o seu fabrico, essencialmente, pelo emprego de meios mecânicos. Na essência da construção com BTC's pode dizer-se que o tradicional mistura-se com o moderno, tradicional porque usa a terra, material de construção ancestral, e moderno porque é fundamental o uso de equipamentos, que têm o cunho da modernidade. À semelhança das outras técnicas, deve haver bastante cuidado na selecção da terra a usar, nomeadamente evitar a presença de certos tipos de argila que não são aconselháveis no uso da construção por serem demasiado expansivas quando em contacto com a água.

### 2.2.4 Adobe

#### 2.2.4.1 Definição e origens

##### Definição

O adobe é um material de construção vernacular usado milenarmente um pouco por todo o mundo, em virtude da facilidade de se dispor da sua matéria-prima, a terra. Segundo *Gutierrez [1972]*, o adobe como sistema de construção, pode-se descrever como a sobreposição de blocos de terra crua, moldados em formas por processos artesanais ou semi-industriais, estabilizado ou não com fibra vegetal (palha) e cal, secos ao sol, e que se unem entre si com uma argamassa de características similares à constituição dos próprios blocos de adobe.

##### Origens

Há várias referências na Bíblia à utilização do adobe, logo por se tratar de livros do Antigo Testamento facilmente se conclui que a utilização do adobe remonta, pelo menos, a tempos anteriores à era cristã. Como referido no ponto 2.1.2 o adobe é um dos mais antigos materiais de construção e foi amplamente utilizado nas civilizações do Crescente Fértil, em especial no Antigo Egipto e Mesopotâmia, sendo muito utilizado na construção tradicional destas civilizações [*Correia, 2006*].

O adobe foi utilizado em diversas partes do mundo, especialmente nas regiões mais pobres, com climas quentes e secos. Com o advento da industrialização, no século XIX, as técnicas de construção em terra, foram sendo aos poucos abandonadas, restando às populações de poucos

recursos a continuação do seu uso, nascendo aí, talvez, a razão principal para o preconceito que de certa forma se mantém até os dias de hoje sobre o nível económico de quem constrói em terra.

#### 2.2.4.2 Processo de fabrico

Os processos e procedimentos relacionados com a construção em adobe, ao longo dos tempos, pouco se alteraram, excepção para o facto de se ter introduzido algum apoio de mecanização na sua produção, tendo chegado aos dias de hoje através do testemunho e da passagem de conhecimentos acumulados entre os intervenientes ligados a esta técnica de construção em terra.

Normalmente o adobe é feito perto do local da obra onde há terra adequada, com o emprego de água amassa-se essa mistura até se obter boa ligação, à semelhança do que acontece com o conhecido barro. Essa mistura é colocada em formas de madeira, designadas por adobeiras, com as dimensões que se pretende construir [exemplo:  $0.40 \times 0.20 \times 0.15 \text{m}^3$ ], sendo necessário molhá-las antes de se colocar a mistura para posteriormente facilitar o processo de desmoldagem (figura 4).



**Figura 4:** Etapas do fabrico dos blocos de adobe: a) preparação dos trabalhos; b) mistura da terra com água e fibras vegetais; c) colocação da mistura nas adobeiras; d) desmoldagem dos blocos [Zavala e Igarashi, 2007].

No processo de secagem os blocos devem estar em local abrigado durante um período aproximado de quinze a vinte dias, devendo ser virados com alguma regularidade, de dois em dois dias.

Relativamente à adição de fibras vegetais na composição dos adobes, a opinião dos especialistas não é consensual. No caso de *Neumann [1984]*, num estudo de resistência à compressão com a adição de palha nos blocos de adobe, chegou à conclusão que se consegue controlar a microfissuração. Por outro lado *Milanez [1958]* descarta por completo a sua utilização, considerando totalmente ineficaz em razão do apodrecimento do material com o tempo, o que provoca o aparecimento de canalículos dentro do adobe provocando a diminuição da sua resistência.

Como é uma técnica de construção que foi e continua a ser disseminada um pouco por todo o mundo, ou não fosse como já foi referido no ponto 2.2.4.1 uma tradição de construção vernácula, obviamente não existe uma formulação, uma regra, rígida para a mesma, pese embora na sua essência esteja o princípio que atrás foi descrito. É portanto muito natural que se encontre nos relatos de pessoas que estão, ou estiveram, ligadas directamente à produção do adobe e nomeadamente na bibliografia da especialidade, ligeiras diferenças na forma, no método de execução dos blocos de adobe assim como nas construções com o mesmo material. Estas variantes estão sobretudo relacionadas com aspectos de localização, das características da terra disponível, das condições climáticas, das tradições de construção e das condições económicas. A energia empregue na sua produção é quase nula e a mão-de-obra necessária não precisa de ser especializada, o que torna, portanto, esta técnica bastante acessível e de elevada economia construtiva, sendo, deste ponto de vista, altamente sustentável.

Quanto à composição granulométrica, ideal para o fabrico do adobe, são diversas as opiniões dos especialistas:

- *Martinez [1979]* : 20% de argila e areia entre 40% e 55%;
- *Hernandez [1983]* : quantidade aproximadas de areia 50%, silte 30% e argila 20%;
- *Alves [1985]* : quantidade de argila inferior a 20% e quantidade de areia superior a 45%;
- *Veloso [1985]* : quantidades de argila e silte entre 3% e 9%.

Não obstante a opinião de cada um dos autores, torna-se evidente a necessidade de caracterizar em termos granulométricos a terra que se vai utilizar no fabrico dos adobes, quer por ensaios de campo quer por ensaios laboratoriais, para verificar a necessidade de correcções na sua composição, nomeadamente através da adição de areia e ligantes, como a cal.



### 2.2.4.3 O sistema construtivo em adobe e alguns aspectos característicos relacionados com a sua construção

O sistema construtivo em adobe, de forma genérica, é caracterizado por ser constituído por uma estrutura de paredes resistentes, executadas em alvenaria de blocos de adobe, em que as fundações habitualmente eram executadas em alvenaria de pedra comum (figura 5), material com melhor comportamento face à água, a profundidades que variavam em função da capacidade de carga do solo de fundação. Os edifícios eram elevados relativamente ao solo de fundação, em média entre os 0.50m e 1.00m, permitindo dessa forma a criação de uma caixa-de-ar, importante na ventilação da base das paredes e do pavimento (estrutura de soalho em madeira). Em edifícios de áreas maiores era habitual a existência de paredes-mestras, normalmente dispostas no sentido longitudinal das construções, que além de colaborarem no sistema estrutural da construção eram interrompidas pontualmente para permitir a ventilação entre diferentes compartimentos.

#### Fundações

Na construção em terra e nomeadamente no caso da construção em adobe, percebe-se desde logo a importância de limitar o contacto dos elementos de terra crua com a água. As fundações além de executadas em alvenaria de pedra (figura 5), eram contínuas tanto para apoio das paredes exteriores como das paredes interiores e tinham uma altura acima do solo que podia variar entre os 0.30m e 0.50m de altura (por vezes atingiam alturas superiores a 1.00m), evitando assim o contacto directo com a humidade ascendente (higroscopicidade). Nos edifícios com mais cuidados na sua construção, era realizada a impermeabilização das fundações até uma altura mínima acima do solo, à base de alcatrão [Castro, 2009].



**Figura 5:** Fundações em pedra sob paredes de alvenaria de adobe [Pereira, 2008].

---

Nas construções actuais em adobe as fundações e o arranque das paredes são executadas em betão armado, havendo também o especial cuidado de colocação de barreiras capilares entre a superfície de terreno e as fundações, assegurando assim que não haja ascensão capilar da água pelas fundações e paredes a partir do terreno.

#### **Caixa-de-ar do piso térreo**

Como já foi referido na secção anterior deste capítulo, era habitual a criação de uma caixa-de-ar sob o piso térreo do edifício (técnica ainda hoje usada nas actuais construções) de forma a possibilitar a sua ventilação. A ventilação era assegurada por orifícios denominados por gateiras (figura 6), dispostos de forma oposta às tradicionais caixas-de-ar e localizados ligeiramente acima do nível da rua. Em muitos casos, a altura destas caixas-de-ar chegavam a ter mais de 2.00m permitindo a utilização destes espaços (meias-caves) para outros tipos de utilização, nomeadamente de apoio à habitação.



**Figura 6:** Exemplos de gateiras, fundamentais no processo de ventilação.

#### **Paredes e revestimentos**

As paredes resistentes eram, na sua grande maioria, constituídas por blocos de adobe justapostos e unidos por argamassa com as mesmas características da mistura usada nos blocos de adobe e no revestimento dessas mesmas paredes. As paredes interiores de divisão de compartimentos eram realizadas tanto em adobe como em tabique sendo estas últimas de uma espessura muito menor. As dimensões dos blocos que eram usados variavam em função da região onde eram aplicados e, por vezes, na própria construção dependendo do local do edifício onde era usado.

Dada a natureza da sua constituição mas sobretudo à precariedade das suas fundações, estas paredes eram sujeitas a um registo de fissuração evidente e em muitos casos demasiado



pronunciado. São diversas as razões que podem estar na origem do processo de fissuração, onde se destacam: variações de humidade no solo; fundações contínuas solicitadas por carregamentos não uniformes; e os assentamentos diferenciados por falta de homogeneidade nas características do solo de fundação e/ou consolidações distintas do aterro carregado [Martins, 2009].



**Figura 7:** Exemplos de degradação dos revestimentos exteriores em edifícios de adobe.

Ao nível do revestimento das paredes as fissuras que ocorrem normalmente estão directamente relacionadas com: expansões e retracções a que os revestimentos estão sujeitos; alternâncias de humedecimentos/secagem; má adaptação ao suporte (por exemplo insuficiente aderência ao suporte). Também outra patologia recorrentemente encontrada nos revestimentos é a sua degradação (também dos seus suportes) devido ao processo normal de envelhecimento dos materiais constituintes, assim como a acção erosiva dos agentes atmosféricos (chuva, vento e variações de temperatura), de forma isolada ou conjugada (figura 7).

No que concerne a aspectos técnicos, os mais relevantes, os revestimentos deverão cumprir a tarefa fundamental de protecção dos suportes dos processos que levem à sua degradação, não obstante a preocupação das soluções adoptadas preencherem requisitos também relacionados com aspectos estéticos. Os mais importantes:

- Limitar ao máximo a absorção de água pelas paredes e otimizar o processo de evaporação;
- Limitar o valor da resistência mecânica das argamassas ao valor da resistência mecânica dos seus suportes, para que não provoquem tensões excessivas nestes, como é o caso do uso indevido das argamassas à base de cimento que se tem assistido recorrentemente;
- Minorar a libertação de sais solúveis e o seu transporte pela água;
- Assegurar a durabilidade dos revestimentos de forma a evitar a sua degradação precoce.

### Embasamento

O embasamento é um elemento construtivo usado em diversos tipos de construção mas assume especial importância na construção em adobe. É uma das zonas mais sensíveis deste tipo de construção porquanto está mais exposto à acção agressiva e permanente da água (águas das chuvas, águas projectadas pela circulação de veículos, humidade ascensional). Os materiais normalmente usados (pedra, cerâmicos, etc) são mais resistentes do que o adobe e conferem-lhe uma maior protecção, além do aspecto estético que assume alguma relevância (figura 8).



**Figura 8:** Exemplos de embasamentos.

### Coberturas

A disposição das coberturas neste tipo de construções, nomeadamente ao nível dos beirais, é de crucial relevância porquanto é um dos principais meios de garantir o afastamento das águas das chuvas dos parâmetros exteriores e interiores das paredes (figura 9b). A fraca projecção do beirais sujeita as paredes a uma maior acção negativa da água sobre estas e segundo estudo realizado, os beirais são mais proeminentes nas construções mais antigas do que nas mais recentes [Castro, 2009]. As coberturas são constituídas, na sua maioria, por uma estrutura de suporte em madeira e revestidas em telha corrente.

Ao nível das coberturas, os efeitos da acção negativa da água sobre as paredes e sobre a estrutura da própria cobertura têm a ver sobretudo com deficiências ao nível do escoamento das águas pluviais e sobretudo com a falta de manutenção adequada (telhas partidas ou levantadas). Quando o sistema de drenagem de águas pluviais não é eficaz, ao nível da cobertura, quer seja por técnicas de concepção desadequadas quer seja por falta de manutenção pró-activa, os efeitos nefastos das

infiltrações fazem sentir-se na degradação das condições de estabilidade da cobertura (em alguns casos pode levar mesmo ao seu colapso – figura 9a) e na degradação das paredes por humidade excessiva (infiltrações para o reboco interior, destacamentos de material, etc).



**Figura 9:** Exemplos de coberturas e pormenores de construção: a) aspecto de uma cobertura degradada; b) beiral com proeminência significativa; c) aspecto geral de uma cobertura bem construída e com boa manutenção.

Nas intervenções actuais neste tipo de construções (reabilitações, manutenções e mesmo novas construções) à que prever especial cuidado com algumas questões relacionadas com as coberturas: a inclinação que é dada na sua colocação; a qualidade das telhas e a sua correcta aplicação (figura 9c); necessária ventilação na sua face interior; e manutenção regular de todos os outros elementos construtivos que constituam uma cobertura (chaminés, cumeeiras, caleiras, etc).

#### 2.2.4.4 Vantagens e potencialidades

Pese embora no panorama da actual construção o adobe seja uma técnica construtiva com muito pouca expressão, são diversas as vantagens e potencialidades que a sua utilização acarreta. Talvez umas das razões que ajude a explicar este contra-senso, seja o facto de, conforme o afirma a Arq<sup>a</sup> Isabel Carvalho [2006], *“em prole do bem estar, do conforto e umas quantas mais legítimas aspirações humanas, passámos décadas, e continuamos, a projectar e a fazer edifícios que alimentam toda uma indústria de grandes impactos sobre o ambiente e consumidora de muitos recursos”*. Não obstante continuamos *“a não responder de forma cabal às actuais necessidades de isolamento, eficácia energética e conforto”*.

Não sendo a construção em terra crua, nomeadamente a construção em adobe, a fórmula perfeita, apresenta desde logo muitas vantagens e potencialidades, por explorar convenientemente, como:

- **Baixo consumo energético associado:** uma vez que não consome energias não renováveis, não necessita de transporte (o material principal está no local da construção), não contribui para a redução dos recursos naturais de inertes;
- **A terra, um recurso renovável e abundante:** produto último da degradação das rochas, é abundante e a natureza do seu material mantém-se intacta após a sua utilização;
- **Boas características de conforto térmico e acústico:** este tipo de construção apresenta propriedades higrotérmicas que contribuem para a regulação do conforto térmico e, em função da elevada massa que constituem estas paredes, consegue uma elevada inércia térmica e boas características relativamente ao isolamento acústico a sons aéreos;
- **Absorção de odores e dissolução de gorduras:** características que derivam directamente das propriedades da argila, constituinte da terra;
- **Construção ecológica:** além das razões associadas ao baixo consumo energético, não contribui para a degradação da paisagem, não produz subprodutos e tem a vantagem de ser reciclável (a terra volta a ser terra);

Não obstante as razões indicadas na explanação das vantagens e potencialidades do uso desta técnica de construção, convém também referir que, por outro lado, a construção em adobe apresenta duas principais desvantagens: a sua degradação em presença de água (seja ela proveniente de infiltrações, de humidades ascensionais, ou de outro fenómeno) e o seu fraco desempenho estrutural, quando solicitada por acções horizontais de corte, nomeadamente pela acção sísmica.

#### **2.2.4.5 Edificado na região de Aveiro**

No território português a construção em adobe, na sua grande maioria, está confinada sobretudo ao centro litoral, nomeadamente à região de Aveiro, abundante em água, elemento fundamental na construção em adobe. Conforme dados da autarquia de Aveiro, cerca de um quarto da construção existente na cidade é em adobe, sendo que aumenta para um terço se nos referirmos ao conjunto de toda a região [Varum *et al*, 2006].

A construção com adobe em Aveiro era usada sobretudo em casas e muros, embora sejam também conhecidas outras utilizações, como a construção de muros de suporte e poços de água. Para

melhorar o seu desempenho mecânico era usual a adição de cal e por vezes palha. Relativamente às dimensões dos blocos, segundo alguns levantamentos já realizados, as mais correntes eram  $0.45 \times 0.30 \times 0.15\text{m}^3$  quando usados em habitações e  $0.45 \times 0.20 \times 0.15\text{m}^3$  quando usados na construção de muros e poços [Pereira, 2008]. Outra particularidade dos blocos de adobe era a sua grande heterogeneidade ao nível da constituição de materiais, encontrando-se em bastantes casos materiais de muito fraca qualidade (figura 10). Esta diversidade dificulta sobremaneira a criação de um padrão relacionado com a caracterização do comportamento estrutural deste tipo de construção que facilite, assim, as análises e estudos necessários com vista à preconização de melhores soluções de reabilitação.



**Figura 10:** Exemplos de adobes de fraca qualidade: a) adobe com restos de outras construções; b) uso de outros materiais; c) blocos à base de terra vegetal [Pereira, 2008].

Quanto ao estigma de que este tipo de construção em terra estava destinado somente às populações de recursos económicos mais modestos, a limitação na disponibilidade de outros materiais na região e o património existente em Aveiro prova o contrário, conforme ilustra a figura 11, com a existência de obras mais nobres e ricas, nomeadamente grandes mansões, igrejas, casas de espectáculos (algumas conotadas com o estilo Arte Nova) que actualmente têm um elevado valor histórico e sobretudo cultural.

Actualmente, o nível de degradação e abandono das construções em adobe na região é, além de evidente, preocupante, ou não estivéssemos em presença dum testemunho cultural da região que se vai esvaecendo aos poucos. A demolição dessas construções, na sua grande maioria para dar lugar a novas construídas com materiais e técnicas de construção civil de uso actual corrente, tem sido a solução geralmente adoptada. Contudo, observam-se ainda bastantes casos em que as construções se encontram plenamente capazes de cumprir as funções para as quais foram



idealizadas e construídas, necessitando para tal de pequenas obras de manutenção e conservação. Alguns dos seus proprietários mais sensibilizados para esta problemática, entre os quais se destacam algumas autarquias da região, têm lutado contra este fado e recorrido pontualmente à reabilitação e reforço dessas construções.

Na figura 11 são apresentados alguns exemplos de edificações da região de Aveiro construídos em adobe.



**Figura 11:** Alguns exemplos de edificações na região de Aveiro construídos em adobe.

---

### **Capítulo 3**

#### **Caracterização mecânica das alvenarias de adobe**

---

---

## **Capítulo 3 Caracterização mecânica das alvenarias de adobe**

### **3.1 Enquadramento histórico e legal**

### **3.2 Descrição geral do ensaio com recurso a macacos planos**

#### **3.2.1 Equipamento necessário**

#### **3.2.2 Ensaio simples**

#### **3.2.3 Ensaio duplo**

### **3.3 Premissas e condicionantes do ensaio**

#### **3.3.1 Premissas**

#### **3.3.2 Condicionantes**



---

(...)

*13 em Calento da Espanha ulterior, em Marselha da Gália e em Pitana da Ásia fabricam-se uns tijolos que, uma vez secos, não se fundem em água: isto parece possível porque a de que se formam será da natureza da pomes, que por ser tão leve, depois de penetrada pelo ar, não admite humor algum. (...)*

*( Los Diez Libros de Architectura, Livro II – Cap. III, de M. Vitruvio Polión )*

### **3 Caracterização mecânica das alvenarias de adobe**

#### **3.1 Enquadramento histórico e legal**

Nos anos mais recentes, grandes investimentos no âmbito da investigação relacionada com a preservação da arquitectura tradicional, vernácula, considerada fundamental no que concerne às tradições culturais das sociedades modernas, têm sido realizados e como tal prestado o seu enorme contributo. O desenvolvimento de campanhas de inspecção, monitorização e análise estrutural, assim como a realização de ensaios não destrutivos, têm permitido compreender, analisar e intervir ao nível da reparação deste tipo de construções, representando desta forma um enorme e contínuo desafio à comunidade científica.

As investigações e sobretudo as iniciativas de intervenção neste tipo de construções, estão muito condicionadas pelo cuidado extremo que têm de ser empregue para que daí não resultem danos para a estrutura e não comprometam a autenticidade das construções. A variedade empregue no uso de diversos materiais para a sua construção, a variabilidade das propriedades mecânicas desses materiais, as diferentes técnicas de construção usadas, a complexidade geométrica de muitas dessas construções e sobretudo as grandes restrições ao nível das intervenções em algum deste edificado com valor histórico insofismável, são dificuldades acrescidas à necessária investigação.

Para uma análise estrutural adequada do estado de conservação deste tipo de construções, é necessário e importante obter o máximo de informação técnica possível, tendo em vista a preconização das apropriadas medidas de intervenção ao nível do reforço e/ou reabilitação.

Os métodos e ensaios não destrutivos (ou semi-destrutivos) são fundamentais para a obtenção de valiosa informação relacionada com as características mecânicas dos materiais que constituem estas construções e sobretudo compreender, assim, o seu comportamento mecânico, saciando também desta forma a comunidade de investigação. O ensaio de macacos planos (*flat-jack testing*) é um ensaio directo e realizado *in-situ* que permite determinar, nos locais, normalmente paredes resistentes, onde é realizado, algumas dessas características, nomeadamente: o estado de tensão instalado, a resistência à compressão e o módulo de elasticidade, todos parâmetros fundamentais na análise da segurança e estabilidade estrutural deste tipo de construções. Requer apenas a remoção de uma pequena parcela de material das paredes, normalmente ao nível das juntas da alvenaria, que pode ser reparada imediatamente após o ensaio, sendo desta forma considerado um ensaio semi-destrutivo porque o dano causado, mesmo que ligeiro, é temporário e reparável.

Este ensaio teve a sua origem na adaptação que o investigador italiano *Paolo Rossi*, na década de oitenta, fez dos originais testes em obras de estruturas em rochas (túneis e minas) para os ensaios em paredes de alvenaria. Desde então têm sido introduzidas no ensaio algumas alterações e melhorias por outros técnicos e investigadores, um pouco por todo o mundo, respondendo de certa forma às várias diferenças nas características da constituição das paredes de alvenarias, que ensaiaram, nomeadamente: *C. Abdunur, J. L. Noland, R. H. Atkinson (Estados Unidos América), W. Qinglin e W. Xiuyi (China) [Lourenço, 2000]*.

A sua aplicabilidade e registo procedimental estão devidamente documentados e suportados por normas técnicas específicas, no caso, as normas ASTM (Estados Unidos da América) <sup>[1]</sup> e as normas RILEM (Europa) <sup>[2]</sup>, ambas elaboradas no início da década de noventa e que de alguma forma regulam práticas de duas correntes distintas.

---

[1] – ASTM, In-situ compressive stress within solid masonry estimated using flat-jack measurements, ASTM C1196-91, 1991  
– ASTM, In-situ measurement of masonry deformability properties using the flat-jack method, ASTM C 1197-91, 1991

[2] – RILEM, LUM.D.2, In-situ stress test on masonry based on the flat-jack, 1990  
– RILEM, LUM.D.3, In-situ strength/elasticity tests on masonry based on the flat-jack, 1990

### 3.2 Descrição geral do ensaio com recurso a macacos planos

O ensaio com macacos planos é utilizado para determinar o estado de tensão a que está sujeita uma determinada secção de parede e avaliar as características de deformabilidade de paredes de alvenaria. Genericamente, é baseado na libertação do estado de tensão a que está sujeita a secção onde é realizado o ensaio, através da realização de um e/ou dois rasgos na parede, com profundidade em função do tipo de geometria do macaco, seguida da aplicação de cargas através dos macacos planos previamente inseridos nos rasgos.

#### 3.2.1 Equipamento necessário

Os macacos planos podem ser caracterizados por pequenas e delgadas almofadas metálicas que, com um registo de entrada e outro de saída, permitem, com a introdução de óleo hidráulico, a pressurização de todo um sistema, podendo daí ser obtidos valores de pressão e consequentemente tensões e deslocamentos da alvenaria. Este sistema, necessário à realização dos ensaios, é constituído pelo seguinte equipamento principal, ilustrado na figura 12.



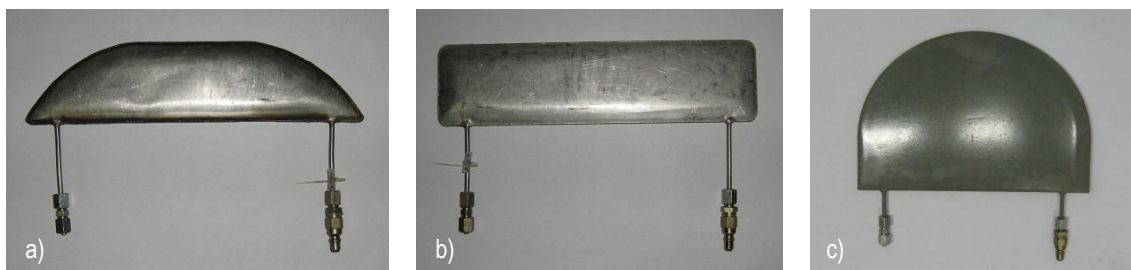
**Figura 12:** Equipamento fundamental à realização dos ensaios simples e duplos.

- Conjunto de macacos planos, devidamente calibrados (a);
- Conjunto hidráulico transmissor de altas pressões aos macacos planos, composto por bomba, transdutor de pressões e conjunto de mangueiras (b);
- Equipamento de medição de deslocamentos para o ensaio simples: alongâmetro (c);
- Equipamento de medição de deformações/deslocamentos no ensaio duplo: potenciômetros (d);
- Sistema de aquisição de dados: *software* e computador portátil (e).

São ainda necessários, de forma genérica, os seguintes materiais e equipamentos de apoio:

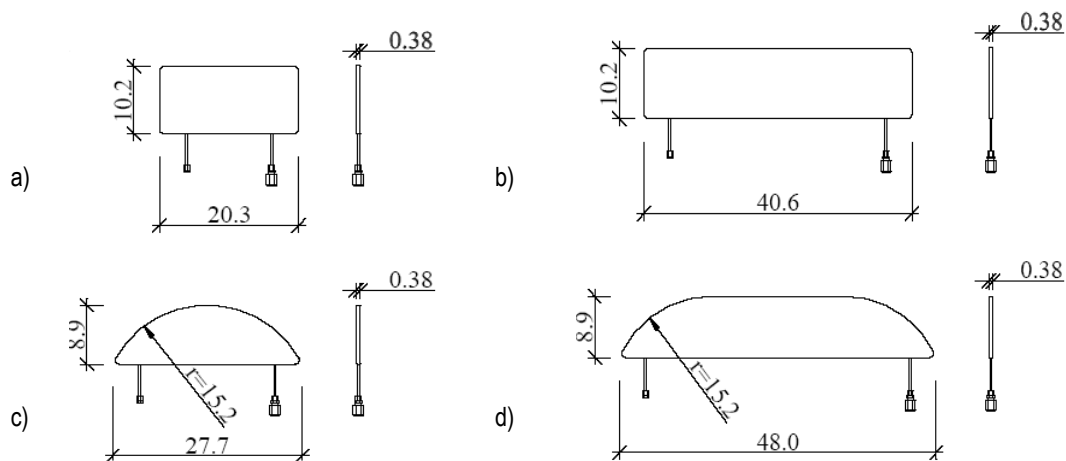
- Máquina de corte para realizar os rasgos, com disco de corte indicado para o tipo de alvenaria e para a configuração do macaco plano a utilizar;
- Miras (discos metálicos de pequenas dimensões), respectivo material de colagem (super-cola ou resinas epoxídicas) que se deve adaptar à base onde vão ser coladas e material de limpeza da base para criação de aderência à colagem (escova de aço, lixa, pano, álcool);
- Ferramenta ligeira para auxílio de várias actividades: remoção de argamassas (escopro e martelo); aperto das uniões dos registos de entrada e saída dos macacos planos (alicate, chaves de bocas);
- Equipamentos de protecção individual de segurança (máscara, óculos, luvas, botas);
- Máquina fotográfica para o registo das incidências dos ensaios;
- Diversos (papel químico, paquímetro, fita métrica, etc).

São diversas as dimensões e formas de macacos planos conhecidos, sendo normalmente usados em função das características da alvenaria a testar assim como de algumas condicionantes locais. Na figura 13 são apresentados os três tipos de macacos planos que foram usados na campanha de ensaios realizados.



**Figura 13:** Macacos planos usados na campanha de ensaios: a) semi-oval; b) rectangular; c) semi-circular.

Na figura 14 são apresentados outros exemplos de configuração dos macacos planos usados um pouco por todo o mundo (referência aos locais no sub-capítulo 3.1).



**Figura 14:** Exemplos de secções de macacos planos:

a) e b) rectangulares; c) semi-circular; d) semi-oval [Lourenço e Gregorczyk, 2008].

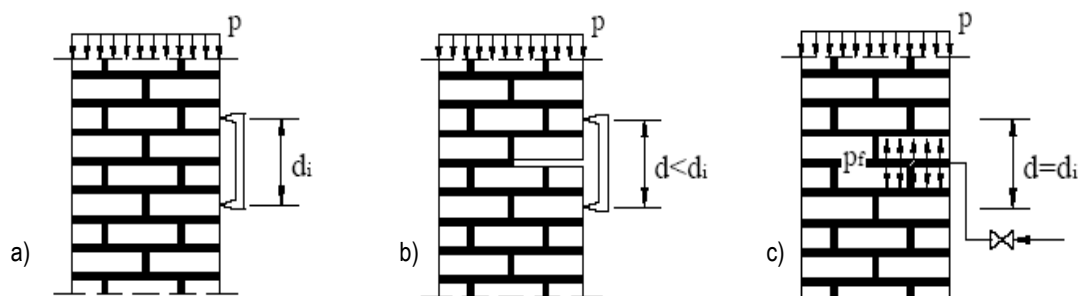
São de dois tipos os ensaios de macacos planos que podem ser realizados. Pese embora as suas diferenças, tanto no método como nos resultados que com eles se pretende obter, são de alguma forma ensaios que se complementam, os ensaios simples e os ensaios duplos.

### 3.2.2 Ensaio simples

O ensaio simples serve essencialmente para determinar a tensão instalada na parede, sobretudo na secção de corte (plano e perpendicular à superfície), em análise, sendo somente usado um macaco plano. O procedimento do ensaio consiste, genericamente, em três fases, conforme esquema e imagens apresentados nas figuras 15 e 16 respectivamente, descritas da seguinte forma:

- 1) Registo das distâncias iniciais entre miras (discos metálicos de pequenas dimensões), previamente colocadas e dispostas perpendicularmente, antes da abertura do rasgo na parede;
- 2) Registo das distâncias entre miras, após a libertação do estado de tensão provocada pelo rasgo na parede de alvenaria e limpeza do material proveniente do corte;

- 3) Introdução do macaco plano no rasgo e pressurização gradual, com níveis de carga de incremento constante, até que seja atingido o “ponto de equilíbrio” com o restabelecimento da tensão inicial, atingido quando se verificarem as leituras das distâncias iniciais entre miras antes da abertura do rasgo.



**Figura 15:** Esquema do faseamento do ensaio simples: a) fixação das miras e leitura das  $d_i$ 's antes de realizar o rasgo; b) leitura das  $d$ 's após o rasgo; c) pressurização do macaco, em ciclos de carga, até obter as  $d_i$ 's [Lourenço e Gregorczyk, 2008].

As diversas fases do ensaio simples com imagens obtidas durante a campanha de ensaios realizados:



**Figura 16:** Imagens do faseamento do ensaio simples: a) fixação das miras e posterior leitura das  $d_i$ 's; b) leitura das  $d$ 's após o rasgo; c) leituras das  $d_i$ 's após pressurização do macaco plano.

Após a realização do trabalho de campo, os dados recolhidos são tratados e é estimado o valor da tensão instalada ( $\sigma_i$ ) na parede de alvenaria a partir da seguinte equação:

$$\sigma_i = K_m \times K_a \times p \quad (\text{Eq. 1})$$

em que,

- $K_m$  - coeficiente adimensional ( $< 1.0$ ), obtido de acordo com o procedimento de calibração (norma ASTM C1197-91), que reflecte a rigidez do macaco plano e o atrito do sistema hidráulico (no capítulo seguinte será explicada a forma de obtenção deste coeficiente);
- $K_a$  - coeficiente adimensional ( $< 1.0$ ) que traduz a relação entre a área do macaco plano e a área do rasgo (no capítulo seguinte será explicada a forma de obtenção deste coeficiente);
- $p$  - valor da pressão medida no transdutor de pressão da bomba, que pressuriza os macacos, e que repõe o valor da pressão nas condições iniciais da alvenaria.

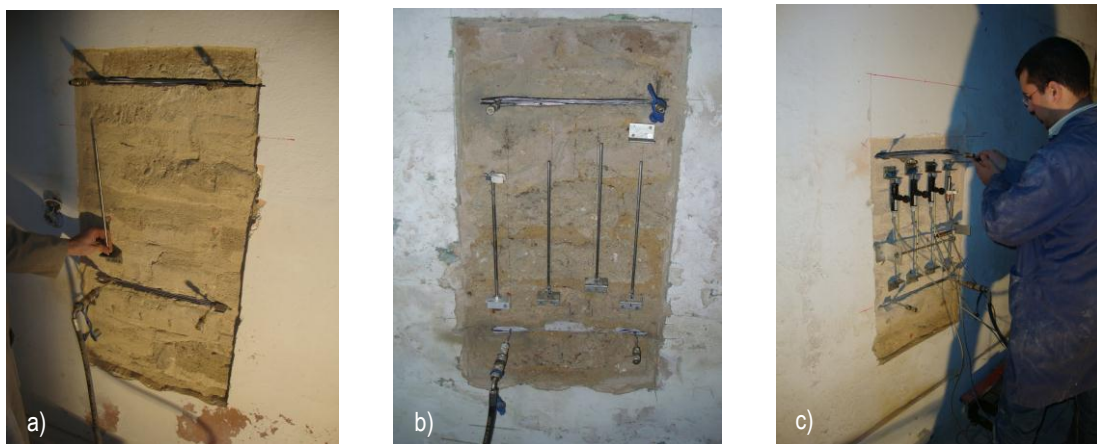
### 3.2.3 Ensaio duplo

O ensaio duplo, conforme a própria designação assim o indicia, utiliza dois macacos planos. São necessários dois rasgos horizontais, paralelos e alinhados (normalmente não é fácil a execução dos dois rasgos completamente paralelos e alinhados), sendo que um deles pode ser aproveitado do ensaio simples, assim como a inserção do macaco plano entretanto usado. O outro rasgo, para a inserção do segundo macaco plano, normalmente é realizado na parte superior da secção da parede de alvenaria onde foi realizado o ensaio simples. O ensaio duplo de macacos planos consiste, genericamente, conforme ilustra também a sequência de imagens da figura 17, no seguinte conjunto de procedimentos:

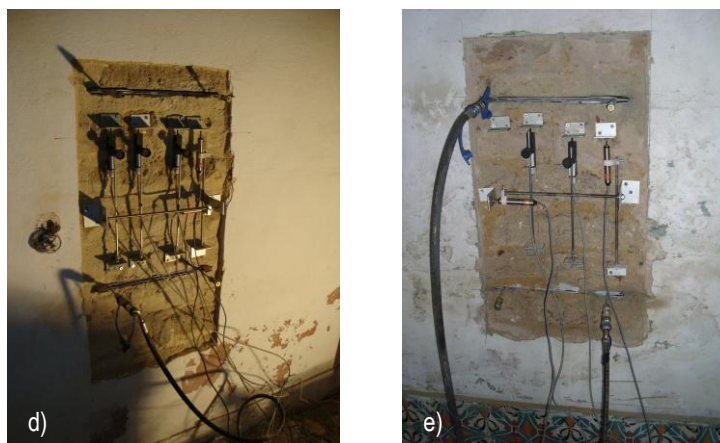
- 1) Após a execução de todo o procedimento relativo ao ensaio simples, inicia-se o ensaio duplo com a abertura do segundo rasgo, que deverá ser feito a uma distância do rasgo do ensaio simples não superior a uma vez e meia o comprimento dos macacos usados, satisfazendo assim as recomendações das normas <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup>;



- 2) Inserido o segundo macaco plano, são então colocados os potenciômetros para controlo e monitorização dos deslocamentos, quer no plano vertical quer no plano horizontal, no provete de alvenaria formado entre os dois macacos planos. Pese embora as normais dificuldades de aplicação destes potenciômetros na superfície da parede de alvenaria, dada a heterogeneidade de materiais que constituem a parede e a irregularidade da sua superfície, estes têm de ficar conforme as recomendações normativas <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup> de forma a que os seus resultados sejam o mais credíveis possíveis;



a) abertura do 2º rasgo e inserção do macaco plano; b) aplicação das hastes dos potenciômetros;  
c) conclusão da aplicação dos potenciômetros;



d) aspecto geral com incremento de um ciclo de carga/descarga; e) conclusão dos ciclos de carga/descarga com o destacamento da parede de um dos potenciômetros.

**Figura 17:** Imagens do faseamento do ensaio duplo



- 3) Depois de ligados os macacos ao sistema de pressurização, são aplicados incrementos de carga constantes definidos normalmente em função da capacidade resistente expectável do tipo de parede de alvenaria. Esta tensão uniaxial aplicada à amostra (secção) da parede localizada entre os macacos planos, reproduz condições muito semelhantes à do ensaio uniaxial convencional. Durante os vários ciclos de carga/descarga, com o aumento/diminuição gradual dos níveis de tensão com incrementos constantes, vão sendo realizadas leituras das deformações induzidas no provete, na amostra.

Tal como já foi referido, este ensaio permite determinar características relacionadas com o comportamento mecânico da secção da parede de alvenaria compreendida entre os macacos planos, nomeadamente ao nível da resistência à compressão e módulo de elasticidade. À semelhança do que também acontecia no ensaio simples, os dados recolhidos durante o ensaio terão de ser posteriormente tratados e, para melhor compreensão, apresentados na forma gráfica. Também no ensaio duplo, a avaliação das propriedades supra referidas são afectadas no seu cálculo pelos coeficientes de correcção  $K_m$  e  $K_a$ , sendo que neste caso são uma média dos coeficientes obtidos em cada um dos macacos planos do ensaio duplo.

No caso concreto do cálculo do módulo de elasticidade médio da alvenaria, este é estimado a partir da leitura do gráfico dado pela curva tensão-extensão obtida nos ensaios duplos e de acordo com a equação (2). A pressão registada no transdutor de pressão é também corrigida, tendo em conta os coeficientes de correcção  $K_m$  e  $K_a$ .

Equação que permite estimar o módulo de elasticidade médio da alvenaria:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_i}{L_i} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que,

$\varepsilon$  - extensão média estimada (mm/mm);

$L_f$  - distância final medida entre pontos de controlo (mm);

$L_i$  - distância inicial medida entre pontos de controlo (mm).

### 3.3 Premissas e condicionantes do ensaio

Tal como a grande maioria dos ensaios conhecidos, os de macacos planos simples e duplos também experimentam algumas dificuldades na sua formulação, pelo que, são admitidas e conhecidas algumas premissas e condicionantes.

#### 3.3.1 Premissas

As premissas que importam notar são:

- O estado de tensão inicial instalado nas paredes de alvenaria é de compressão e é uniforme ao longo da sua espessura, não considerando a possibilidade de existência de estados de tensão diferentes numa e noutra face da parede, nem a existência de um núcleo menos rígido;
- A alvenaria na vizinhança dos rasgos é homogénea;
- A alvenaria deforma-se simetricamente em relação ao eixo dos rasgos horizontais, assumindo que as deformações inelásticas são distribuídas ao longo do comprimento do rasgo;
- A tensão aplicada pelos macacos à alvenaria é considerada uniforme;
- Na alvenaria deve estar instalado, antes do ensaio, um estado de tensão que não ultrapasse o limite linear elástico. Este aspecto é possível confirmá-lo por observação da curva tensão-deformação registada durante o ensaio simples.

#### 3.3.2 Condicionantes

As condicionantes que importam notar são:

- Fiabilidade da interpretação dos resultados em situações de material muito fraco e pouco homogéneo;
- Apoio insuficiente na parte superior da parede com vista a garantir reacção adequada à pressão introduzida pelo macaco plano;

- Dificuldade de interpretação dos resultados, quando após o corte a recuperação das distâncias entre miras não se faz com sucesso;
- Fiabilidade do ensaio quando as cargas são muito baixas;
- As tensões estimadas nas paredes podem não corresponder às tensões efectivamente instaladas, devido a uma distribuição assimétrica de tensões, uma vez que a morfologia heterogénea das alvenarias permite que se estabeleçam caminhos preferenciais de concentração de tensões;
- Registo da área de carregamento efectivo dos macacos planos, durante o ensaio, para os vários níveis de tensão e área de carregamento final;
- Influência nos resultados função das secções/zonas ensaiadas devido à proximidade de pontos singulares da parede de alvenaria (aberturas, cunhais, mudanças na espessura das paredes);
- Planeza, espessura e paralelismo dos cortes, este último no caso do ensaio duplo, que, por vezes, obriga ao calçamento do macaco plano de forma diferenciada ao longo do rasgo;
- Cumprimento das normas, relativamente à localização e distância das miras de controlo de deformação em relação ao rasgo e entre si. Estas disposições são claramente condicionadas pela disposição dos blocos e juntas que constituem a parede de alvenaria e sobretudo pela sua irregularidade.

Sendo muito importante o conhecimento das características e o funcionamento das construções antigas para que se possam delinear intervenções de reabilitação mais assertivas, e o ensaio de macacos planos isso o permite, o caso concreto das construções em paredes de alvenaria de adobe não é excepção. Assim, com o objectivo de ajudar a perceber melhor o funcionamento do comportamento mecânico deste tipo de construções, foi realizado um conjunto de ensaios com macacos planos, nomeadamente ensaios simples e ensaios duplos, em algumas construções localizadas na região de Aveiro, dos quais se irá dar conhecimento das suas incidências e resultados no próximo capítulo.



## **Capítulo 4**

### **Campanha de ensaios realizados em construções de adobe na região de Aveiro**

---

---

## Capítulo 4 Campanha de ensaios realizados em construções de adobe na região de Aveiro

### 4.1 Enquadramento e objectivos

### 4.2 Descrição dos ensaios realizados

### 4.3 Apresentação e discussão dos resultados

#### 4.3.1 Descrição dos edifícios onde foram realizados os ensaios

##### 4.3.1.1 Centro urbano: da cidade de Aveiro

##### 4.3.1.2 Meio rural: freguesia do Bunheiro

##### 4.3.1.3 Periferia de centro urbano: freguesia de Oliveirinha

#### 4.3.2 Ensaio simples

##### 4.3.2.1 Cálculo da estimativa da tensão instalada

##### 4.3.2.2 Trabalho de campo

##### 4.3.2.3 Tratamento dos dados recolhidos

##### 4.3.2.4 Comparação e discussão dos resultados

#### 4.3.3 Ensaio duplo

##### 4.3.3.1 Trabalho de campo

##### 4.3.3.2 Tratamento dos dados recolhidos

##### 4.3.3.3 Estimativa do módulo de elasticidade inicial ( $E_0$ ) e do coeficiente de *Poisson* ( $\nu$ )

##### 4.3.3.4 Comparação e discussão dos resultados

### 4.4 Aspectos relacionados com o ensaio de macacos planos aplicado a paredes de alvenaria de adobe

#### 4.4.1 Remoção da camada de revestimento

#### 4.4.2 Aplicação das miras

#### 4.4.3 Abertura dos rasgos

#### 4.4.4 Registo da área máxima carregada entre o ensaio simples e o ensaio duplo

#### 4.4.5 Registo da fissuração

#### 4.4.6 O coeficiente de correcção $K_m$

---

(...)

*Ninguém aqui vem que não fique seduzido, e, noutro país esta região seria um lugar de vilegiatura privilegiado. É um sítio para contemplativos e poetas: qualquer fio de água lhes chega e os encanta. (...)*

*( Os Pescadores, de Raul Brandão )*

## **4 Campanha de ensaios realizados em construções de adobe na região de Aveiro**

### **4.1 Enquadramento e objectivos**

A reabilitação de edifícios antigos, com paredes de alvenaria resistente, como é o caso das construções em alvenaria de adobe, exige uma definição prévia da estratégia e a discussão em torno das diversas soluções de intervenção. A tomada de decisões no que concerne a este tipo de intervenções, tem que ser baseada numa adequada caracterização prévia dos seus materiais e elementos constituintes bem como nos métodos construtivos subjacentes à sua construção. A falta de informação e conhecimento do comportamento deste tipo de construções, conduz, na esmagadora maioria das vezes, a intervenções que, recorrendo a métodos e técnicas construtivas marcadamente intrusivas, descaracterizam a traça, autenticidade, do edificado construído e, não menos vezes, incompatíveis estruturalmente.

Se por um lado são bem patentes as dificuldades neste tipo de intervenções, por outro, assistiu-se a um rápido desenvolvimento de novas técnicas e materiais de construção que se afastaram irremediavelmente da prática vernácula, tradicional, bem como descobertas científicas ao nível da investigação nesta área que colocam à disposição dos intervenientes nesta temática novos métodos construtivos. Esta evolução natural vem assim introduzir mais aspectos e argumentos decisórios na já há muito visível clivagem entre a arte de construção e a arte da conservação e restauro, salientando assim decisivamente a dimensão e importância do carácter muito próprio deste tipo de intervenções. Fica assim mais uma vez demonstrada a dificuldade em respeitar este tipo de edificado, nas suas mais variadas intervenções, sem formação e conhecimentos específicos.

Tal como já foi evidenciado, é muito importante conhecer o melhor possível as características e o funcionamento das construções antigas, nomeadamente daquelas onde se pretende intervir. Com o objectivo de melhor caracterizar o comportamento mecânico das construções em adobe, nomeadamente ao nível das suas paredes de alvenaria resistentes, foi realizado um conjunto de ensaios com macacos planos, nomeadamente ensaios simples e ensaios duplos, em algumas construções da região de Aveiro. Estes ensaios permitiram aprofundar o conhecimento acerca de alguns parâmetros fundamentais na análise de segurança estrutural destas construções.

Como já foi demonstrado no segundo capítulo, a região de Aveiro têm um vasto e diversificado edificado em construções de alvenaria de adobe, tanto ao nível do património cultural (monumentos, igrejas, museus, etc) como ao nível das construções de recursos mais modestos. Face ao generalizado estado actual de deterioração que apresenta, a opção pela demolição, quando é necessário a tomada de medidas, têm sido a solução mais recorrente. Contudo verifica-se, por parte de alguns agentes identificados com a preservação destas construções, uma maior consciencialização no que concerne à necessidade de ‘manter de pé’ esta janela do nosso passado comum, quer seja por motivações de ordem económica, ambiental ou tão simplesmente de salvaguarda do legado patrimonial dos nossos antepassados.

Pela maior representatividade do edificado da região e sobretudo por maior facilidade de acesso, optou-se por incidir esta campanha de ensaios nas construções ditas de recursos mais modestos. Conhecendo melhor a capacidade mecânica e o comportamento das paredes resistentes destas construções, procura-se contribuir para a criação de uma base de dados, de informação relevante, tendo em vista permitir a sustentação técnica para a tomada de decisões quanto a futuras intervenções de reabilitação e renovação neste tipo de edificado.

## **4.2 Descrição geral dos ensaios realizados**

Os blocos de adobe e as paredes de alvenaria por eles formadas diferem em termos da sua constituição, função do local onde eram erigidas as construções, ou não fosse a terra o principal material usado na sua constituição. É portanto perfeitamente razoável encontrarem-se diferenças, por vezes significativas, nas características dos blocos de adobe de local para local e consequentemente nas paredes de alvenaria dessas construções. Acresce ainda o facto, não



menos importante, das técnicas de construção em adobe variarem também em função do local de construção, nomeadamente ao nível das dimensões dos blocos, da composição do traço da mistura para o fabrico, da adição ou não de cal e de fibras vegetais na mistura.

Em função desta heterogeneidade, optou-se por se realizar uma campanha de ensaios que, de alguma forma, abrangesse na sua pesquisa estas diferenças na forma de construção em adobe, e que, tal como já foi referido, desse especial ênfase às construções de habitações próprias, marcadamente de baixos recursos. Aquando da definição da estratégia para a escolha dos locais onde seriam realizados os ensaios, e tendo por base alguns dos trabalhos e levantamentos já realizados no âmbito deste tipo de construção específica, foram consideradas genericamente três principais formas de expressão deste tipo de edificado e escolhidas três localizações respectivamente:

- *O edificado dos centros urbanos*, onde supostamente o cuidado com questões técnicas, nomeadamente ao nível arquitectónico, e o potencial económico dos proprietários eram claramente maiores: **centro da cidade de Aveiro – Rua Aires Barbosa, nº 16 (edifício nº 1) e o nº 11 (edifício nº 2)** - (figura 18);



**Figura 18:** Localização dos edifícios 1 e 2: a) b) plantas de localização em escalas diferentes [Google maps, 2010]; c) vista parcial do edifício 1; d) vista parcial do edifício 2 (Rua Aires Barbosa, nº 16 e nº11 respectivamente).

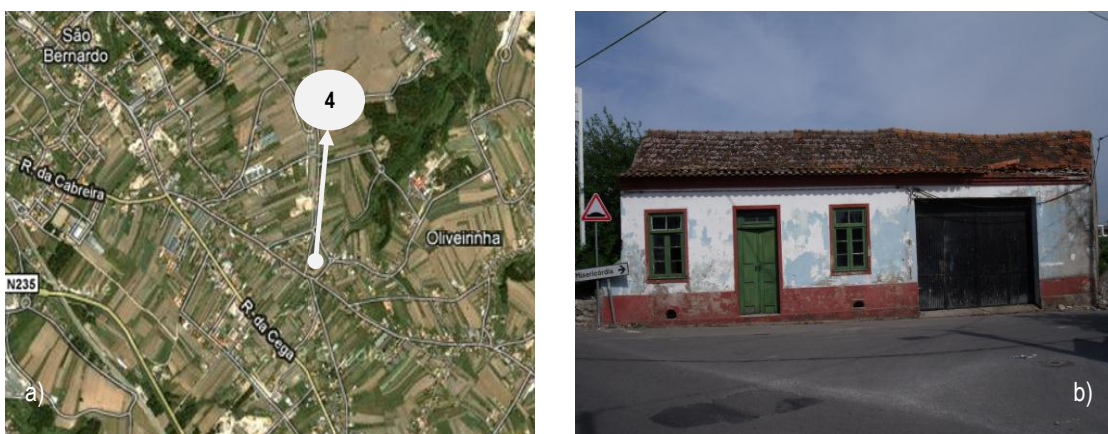
- *O edificado dos meios rurais*, onde as construções seriam, na sua esmagadora maioria, de proprietários com ligações às actividades agrícolas e pecuárias de subsistência, logo com recursos mais parcos, que necessariamente se iria reflectir tanto ao nível do cuidado com questões relacionadas com a arquitectura como ao nível da qualidade dos materiais usados na construção: **freguesia do Bunheiro, concelho da Murtosa – Travessa do Cabo da Carreira, s/nº (edifício nº 3)** - (figura 19);



**Figura 19:** Localização do edifício 3: a) planta de localização [Google maps, 2010]; b) vista parcial do edifício.

---

- *O edificado na periferia dos centros urbanos*, onde era de esperar uma mistura dos dois tipos de construções já referidas: **limite da freguesia de Oliveirinha com S. Bernardo, concelho de Aveiro – Rua da Maritona, s/nº (edifício nº 4)** - (figura 20);

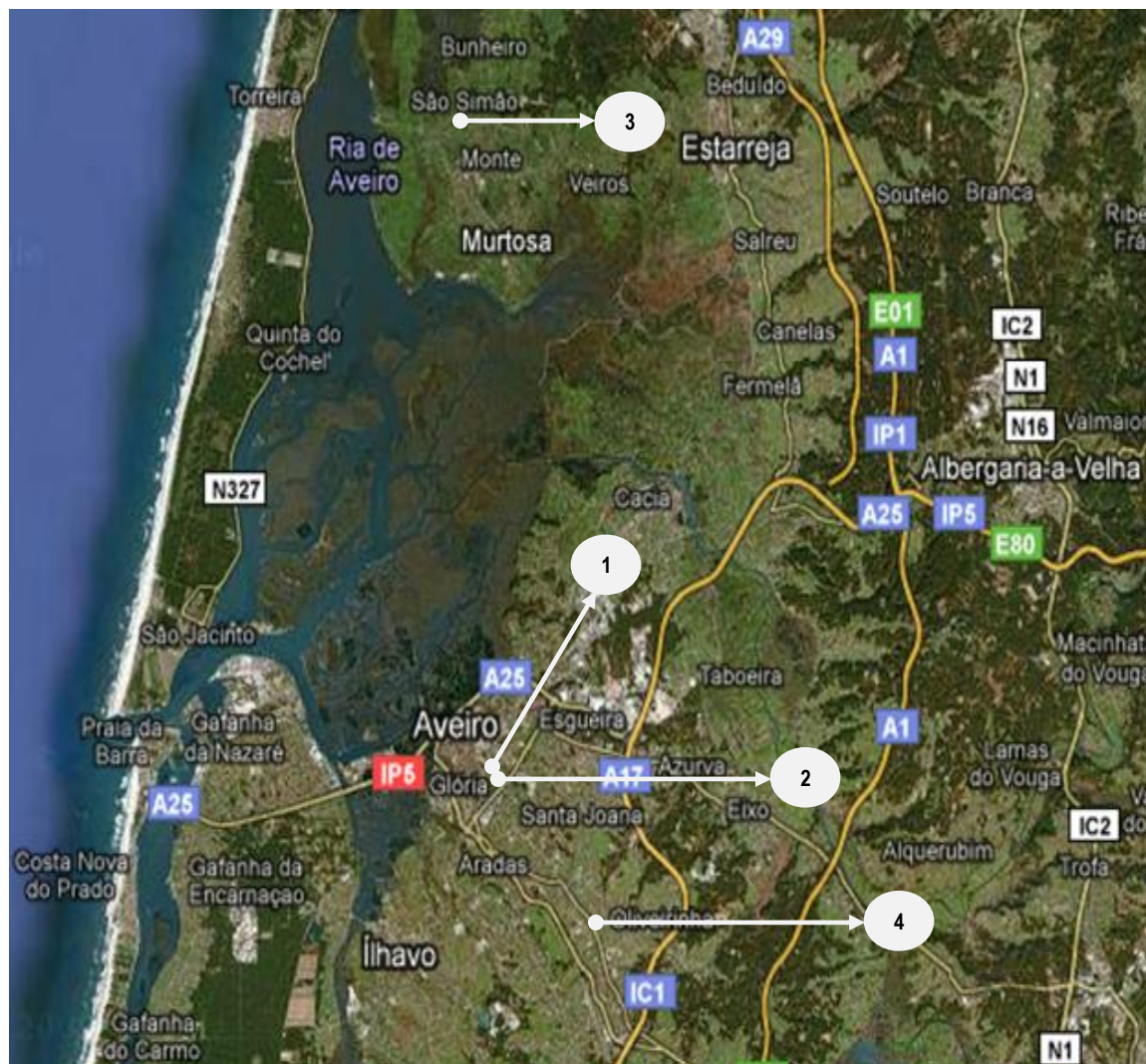


**Figura 20:** Localização do edifício 4: a) planta de localização [Google maps 2010]; b) vista parcial do edifício.

---



Na figura 21, é apresentado um mapa com vista parcial da região de Aveiro onde são assinaladas as localizações dos quatro edifícios onde foram realizados os ensaios.



**Figura 21:** Mapa com vista parcial da região de Aveiro e localização dos quatro edifícios ensaiados [Google maps, 2010].

Referir ainda relativamente à escolha dos edifícios para a realização dos ensaios assim como das paredes ideais nesses mesmos edifícios, que a mesma foi feita tendo em conta os seguintes critérios:

- i) Os edifícios deveriam apresentar condições mínimas de salubridade, não tendo que estar em boas condições de habitabilidade mas capazes de o assegurar caso fosse necessário (destacam-se duas situações: o edifício nº 2 apresentava muito más condições

de salubridade e habitabilidade, enquanto que o edifício nº 3, pelo contrário, estava em muito boas condições de habitabilidade, sendo inclusivamente ainda habitado parcialmente);

- ii) Os edifícios deveriam apresentar boas condições aparentes, de segurança à estabilidade estrutural, não devendo mostrar indícios de pré-ruína ou mau estado de conservação;
- iii) Os edifícios deveriam ser representativos, de alguma forma, do tipo de construção praticada nas três localizações, em cima, identificadas. Referir, a título de exemplo, o facto dos edifícios no centro da cidade de Aveiro apresentarem dois pisos enquanto que nas zonas periféricas do centro urbano e meios rurais a prática mais comum era de apenas um só piso;
- iv) As paredes a ensaiar deveriam apresentar óptimas condições à realização destes ensaios e à aplicabilidade das disposições do ensaio definida pelas normas ASTM C1196-91 (1991a) e RILEM LUM.D.2 (1990a).

Na tabela 1 está indicado o número de ensaios de macacos planos simples e duplos realizados por edifício, sendo que estes números estavam directamente dependente das paredes disponíveis, função da observância das normas definidas para este tipo de ensaios.

Edifícios		Nº Ensaios		
Nº	Localização	Referência do ensaio	Ensaio simples	Ensaio duplo
1	Rua Aires Barbosa, nº 16 – <b>Centro de Aveiro</b>	1, 2	2	2
2	Rua Aires Barbosa, nº 11 – <b>Centro de Aveiro</b>	3, 4	2	2
3	Trav. Cabo da Carreira, s/nº - <b>Bunheiro</b>	5	1	1
4	Rua da Maritona, s/nº - <b>Oliveirinha</b>	6, 7, 8, 9	4	4
<b>Total de ensaios realizados</b>			<b>9</b>	<b>9</b>

**Tabela 1:** Resumo da quantidade de ensaios de macacos planos simples e duplos realizados por edifício.

## 4.3 Apresentação dos resultados

### 4.3.1 Descrição dos edifícios onde foram realizados os ensaios

#### 4.3.1.1 Centro Urbano: da cidade de Aveiro

No centro da cidade de Aveiro foram realizados quatro ensaios de macacos planos em dois edifícios da mesma rua (dois ensaios simples e duplos por edifício), não contíguos, com diferenças suficientes entre ambos para poderem ser considerados amostras distintas (ver figura 22).

O edifício nº1 era constituído por dois pisos, sendo o inferior destinado a um pequeno comércio (mini-mercado) e o superior a habitação própria, revestido em todos os alçados a azulejo, a cobertura era constituída por quatro águas em telha cerâmica do tipo *marselha*, o seu interior era dividido com assoalhadas de média dimensão e as paredes divisórias interiores eram de adobe no piso inferior e de tabique no piso superior encontrando-se rebocadas e em bom estado de conservação. Todos os alçados, conforme se pode verificar nas imagens, eram preenchidos com muitos vãos, ou não fosse este um edifício de gaveto que confinava com duas ruas, o que dificultou a tarefa de seleccionar paredes apropriadas para a realização dos ensaios. Optou-se pela escolha de uma parede divisória no piso inferior (ensaio nº1) e de uma parede no alçado posterior (ensaio nº2) que tinha acesso ao logradouro da habitação. Referir ainda relativamente a este edifício que, passados alguns dias após a realização dos ensaios, foi demolido integralmente para dar lugar a construção nova por opção do promotor imobiliário e não por se encontrar em estado de pré-ruína.

O edifício nº2 é constituído por dois pisos, sendo o inferior destinado essencialmente a arrumos e o superior a habitação própria, geminado com outros dois edifícios em que um deles tem rigorosamente as mesmas características geométricas, o alçado principal é revestido a azulejo e os restantes alçados em argamassa à base de cal. A cobertura é partilhada com o edifício contíguo com as mesmas características e é constituída por quatro águas em telha cerâmica do tipo *marselha*. Como se trata de um edifício com uma área de implantação muito pequena, o seu interior era pouco compartimentado, não havendo vestígios de divisões no piso inferior e no piso superior havia três ou quatro assoalhadas de pequena dimensão. Por se tratar de um edifício confinado por

outros dois, só os alçados principal e posterior é que são providos de vãos, o que facilitou de alguma forma a tarefa de seleccionar as paredes apropriadas para a realização dos ensaios, tendo-se optado pela escolha das paredes confinantes com as paredes dos outros dois edifícios (na parede do alçado esquerdo realizou-se o ensaio nº3 e na parede do alçado direito o ensaio nº4). De todos os quatros edifícios onde foram realizados os ensaios, este era manifestamente o que apresentava piores condições de habitabilidade e salubridade, estando abandonado à imenso tempo.



**Figura 22:** Vistas parciais dos edifícios 1 e 2 (Rua Aires Barbosa no centro da cidade de Aveiro).

---



#### 4.3.1.2 Meio rural: freguesia do Bunheiro

A freguesia do Bunheiro pertence ao concelho da Murtosa e é uma zona perfeitamente identificada com o estereótipo do meio rural da região de Aveiro, onde as actividades económicas que predominavam, à data do apogeu da construção em adobe, e que de alguma forma ainda predominam, eram a agro-pecuária e a pesca, actividades directamente relacionadas com a franja populacional de recursos económicos mais modestos.

A escolha deste edifício (edifício nº3) teve a ver obviamente com a disponibilidade que se encontrou no local por parte do proprietário para a sua cedência à realização dos ensaios (ensaios simples e duplo nº5) e sobretudo pelo facto deste edifício representar claramente o edificado aí existente e apresentar, ainda, excelentes condições de habitabilidade e salubridade (ainda é habitado de forma parcial), sendo de todos os edifícios o que melhores condições de salubridade e estabilidade estrutural reunia.



**Figura 23:** Vistas parciais do edifício 3 (Bunheiro - Murtosa):

a) fachada principal; b) vista exterior da parede (alçado esquerdo) onde foi realizado o ensaio.

---

É um edifício de um único piso, com área de implantação muito pequena (mais recente foi realizado um anexo com materiais e técnicas construtivas mais modernas) e assoalhadas também de dimensões bastante reduzidas. A cobertura é constituída por quatro águas, em telha cerâmica do tipo *marselha*, as paredes exteriores e interiores são todas constituídas por alvenaria de adobe, rebocadas com argamassa à base de cal, e todos estes elementos construtivos apresentam um bom estado de

conservação. Os alçados principal e posterior são preenchidos com muitos vãos, enquanto que o alçado esquerdo não tem qualquer vão e o alçado direito é contíguo aos anexos construídos posteriormente (tem alguns vãos interiores). Este facto limitou bastante a escolha e disponibilidade de paredes para a realização dos ensaios, sendo somente possível a realização de um ensaio na parede do alçado esquerdo, respeitando assim na íntegra as prescrições impostas pelas normas quanto à proximidade de descontinuidades nas paredes de alvenaria.

#### **4.3.1.3 Periferia de centro urbano: freguesia de Oliveirinha**

O edifício nº4 está localizado no limite entre as freguesias de Oliveirinha e S. Bernardo, ambas pertencentes ao concelho de Aveiro e está inserido numa zona que se identifica na perfeição com o tipo de edificado das periferias dos centros urbanos. Esta é uma zona que apresenta ainda alguma, pouca, cariz de aspecto rural mas onde se nota, em diversos aspectos, a clara influência do modo de vida dos centros urbanos. No apogeu da construção em adobe pensa-se que esta realidade seria ainda mais vincada.

A escolha deste edifício teve a ver com a informação que foi prestada pelos serviços técnicos da autarquia de Aveiro relativamente à disponibilidade que o seu proprietário teria disponibilizado à realização dos ensaios e com o facto de este edifício representar bem o edificado aí existente. Actualmente o edifício ainda apresenta boas condições de salubridade, pese embora se encontre devoluto, já não apresentando condições efectivas de habitabilidade, sendo dos quatro edifícios aquele que na globalidade apresentava melhores condições à realização dos ensaios, razão pela qual foram realizados quatro conjuntos de ensaios de macacos planos (ensaios simples e duplos nºs 6-7-8-9).

É um edifício caracterizado por ser uma construção de um único piso, com área de implantação média (alguns anexos também construídos em adobe mas entretanto demolidos) com assoalhadas de dimensões razoáveis. A cobertura é constituída por duas águas, em telha cerâmica do tipo *marselha*, as paredes exteriores e interiores são todas constituídas por alvenaria de adobe, rebocadas com argamassa à base de cal, e todos estes elementos construtivos apresentam um razoável estado de conservação. O alçado principal é preenchido com três vãos enquanto que os



restantes apresentam pontualmente um ou outro vão de forma isolada, permitindo desta forma, a possibilidade de serem realizados vários ensaios no edifício e assim melhor caracterizar as paredes de alvenaria de adobe deste edifício.



**Figura 24:** Vistas parciais do exterior e interior do edifício 4 (Oliveirinha): a) alçado principal; b) alçado lateral esqº.; c) e d) compartimentos onde foram realizados os ensaios nº6 e nº9.

Conforme indica a tabela 1, foram realizados nove conjuntos de ensaios de macacos planos simples e duplos distribuídos pelos quatro edifícios. São apresentados de seguida, de forma relativamente detalhada, os resultados de quatro ensaios que foram escolhidos em função da sua representatividade, nomeadamente no que respeita ao tipo de alvenaria de adobe que constituía cada um desses edifícios assim como cada uma das zonas referenciadas em que se inseriam. Os quatro ensaios seleccionados foram: o ensaio nº1 (edifício nº1), o ensaio nº3 (edifício nº2), ensaio nº5 (edifício nº3) e o ensaio nº9 (edifício nº4). Os restantes cinco ensaios serão apresentados de forma resumida no anexo A.

## 4.3.2 Ensaio simples

### 4.3.2.1 Cálculo da estimativa da tensão instalada

Na parede, ou com mais rigor na secção onde é efectuado o rasgo para inserção do macaco plano para a realização do ensaio simples, é possível estimar a tensão instalada, sendo para tal necessário conhecer a geometria e os materiais constituintes da parede e da cobertura e perceber-se o esquema e funcionamento estrutural do edifício, obtendo assim o conjunto das cargas que aí actuam.

#### ● Ensaio 1

Acções permanentes correspondentes ao (não foram consideradas sobrecargas adicionais):

- Peso próprio da parede do 1º piso com 0.35m de espessura, 2.80m de altura (descontados 0.70m de altura que está sob o macaco plano) e  $\gamma=16.67\text{kN/m}^3$  <sup>[3]</sup> ►  $16.34\text{kN/m}$ ;
- Peso próprio da parede do 2º piso com 0.085m de espessura, 3.60m de altura (parede em tabique) e  $\gamma=8.05\text{kN/m}^3$  <sup>[3]</sup> ►  $2.46\text{kN/m}$ ;
- Cobertura com inclinação 18° (telha *marselha* e ripas e vigas de madeira -  $74.41\text{kg/m}^2$ ) <sup>[3]</sup> e laje de tecto do 1º piso ( $200.0\text{kg/m}^2$ ) <sup>[3]</sup> →  $[(74.41/\cos(18^\circ))+200.0] \times 3.50 = 971.20\text{kg/m}$  ►  $9.52\text{kN/m}$

O total das cargas aplicadas ( $16.34+2.46+9.52$ ) =  $28.32\text{kN/m}$  e tendo por base uma parede com 0.35m de espessura ►  $(28.32/0.35) = \mathbf{0.081\text{MPa}}$

#### ● Ensaio 3

Acções permanentes correspondentes ao:

- Peso próprio da parede com 0.35m de espessura, 5.35m de altura (descontados 0.65m de altura que está sob o macaco plano) e  $\gamma=16.67\text{kN/m}^3$  ►  $5.35 \times 0.35 \times 16.67 = 31.21\text{kN/m}$ ;
  - Cobertura com inclinação 18° (telha *marselha*, ripas e vigas de madeira), laje do 1º piso (estrutura e soalho em madeira -  $84.50\text{kg/m}^2$ ) <sup>[3]</sup> →  $[(74.41/\cos(18^\circ))+84.50] \times 1.70 = 275.38\text{kg/m}$  ►  $2.70\text{kN/m}$ ;
- O total das cargas aplicadas ( $31.21+2.70$ ) =  $33.91\text{kN/m}$  e tendo por base uma parede com 0.35m de espessura ►  $(33.91/0.35) = \mathbf{0.097\text{MPa}}$

<sup>[3]</sup> – Valores dos pesos específicos (médios) retirados das Tabelas Técnicas, 1962 – 5ª Edição – *Técnica, Revista da Associação de Estudantes do I.S.T.*

### ● Ensaio 5

Acções permanentes correspondentes ao:

- Peso próprio da parede com 0.40m de espessura, 3.05m de altura (descontados 0.85m de altura que está sob o macaco plano) e  $\gamma = 16.67 \text{ kN/m}^3$  ►  $3.15 \times 0.40 \times 16.67 = 21.00 \text{ kN/m}$ ;
- Cobertura com inclinação  $25^\circ$  (telha *marselha* e ripas e vigas de madeira) e tecto falso em madeira ( $9.44 \text{ kg/m}^2$ ) <sup>[3]</sup> ►  $[(74.41/\cos(25^\circ)) + 9.44] \times 2.70 = 242.95 \text{ kg/m}$  ►  $2.38 \text{ kN/m}$

O total das cargas aplicadas ( $21.00 + 2.38$ ) =  $23.38 \text{ kN/m}$  e tendo por base uma parede com 0.40m de espessura ►  $(23.38/0.40) = \mathbf{0.058 \text{ MPa}}$

### ● Ensaio 9

Acções permanentes correspondentes ao:

- Peso próprio da parede com 0.45m de espessura, 2.80m de altura (descontados 0.60m de altura que está sob o macaco plano) e  $\gamma = 16.67 \text{ kN/m}^3$  ►  $2.80 \times 0.45 \times 16.67 = 21.00 \text{ kN/m}$ ;
- Cobertura com inclinação  $18^\circ$  (telha *marselha* e ripas e vigas de madeira) e tecto falso em madeira ( $9.44 \text{ kg/m}^2$ ) ►  $[(74.41/\cos(18^\circ)) + 9.44] \times 1.00 = 86.93 \text{ kg/m}$  ►  $0.85 \text{ kN/m}$

O total das cargas aplicadas ( $21.00 + 0.85$ ) =  $21.85 \text{ kN/m}$  e tendo por base uma parede com 0.45m de espessura ►  $(21.85/0.45) = \mathbf{0.049 \text{ MPa}}$

**NOTA:** Para os restantes ensaios são apresentados os resultados das tensões instaladas estimadas por cálculo na tabela 5.

#### 4.3.2.2 Trabalho de campo

Conforme descrito no capítulo anterior, o procedimento realizado no trabalho de campo para o ensaio simples foi o seguinte:

- Abertura duma secção na superfície do reboco da parede, de forma a tornar visível a geometria dos blocos de adobe e juntas de ligação. Não é aconselhável a aplicação das miras directamente sobre o reboco (consultar ponto 1 do sub-capítulo 4.4);

- Colocação de miras (consultar ponto 2 do sub-capítulo 4.4) nos diversos alinhamentos verticais para controlo dos deslocamentos, através da leitura das distâncias entre miras (tabelas 2 e 3 para os ensaios 1-3 e 5-9 respectivamente), nas várias fases do ensaio: antes da abertura do rasgo; imediatamente após a abertura do rasgo (consultar ponto 3 do sub-capítulo 4.4); nos vários ciclos de carga até obtenção das distâncias iniciais.

### ● Ensaio 1

Descrição	Leituras (mm)				
	Alinh. 1	Alinh. 2	Alinh. 3	Alinh. 4	
Leituras iniciais antes da abertura do rasgo	301.040	300.788	302.294	299.960	
	301.040	300.787	302.292	299.955	
	301.042	300.785	302.289	299.959	
Valor médio	301.041	300.787	302.292	299.958	
Leituras após o rasgo	301.004	300.750	302.250	299.931	
	301.007	300.746	302.254	299.931	
Valor médio	301.006	300.748	302.252	299.931	
Pi (kPa)	Pf (kPa)				
105.0	103.0	301.025	300.772	302.275	299.949
210.0	205.0	301.030	300.780	302.284	299.952
330.0	321.0	301.038	300.793	302.296	299.966
412.0	408.0	301.050	300.830	302.323	299.974

### ● Ensaio 3

Leituras iniciais antes da abertura do rasgo	299.690	300.048	301.477	302.251
	299.681	300.038	301.484	302.252
	299.680	300.043	301.488	302.262
Valor médio	299.684	300.043	301.483	302.255

Leituras após o rasgo	299.657	[4]	301.465	302.239
	299.673	[4]	301.471	302.231
Valor médio	299.665	[4]	301.468	302.235

Pi (kPa)	Pf (kPa)				
102.0	101.0	299.717	[4]	301.660	302.311
200.0	195.0	299.743	[4]	301.676	302.328

**Tabela 2:** Leituras das distâncias entre miras, nas várias fases dos ensaios simples 1 e 3.

[4] – Não foi possível realizar estas leituras porque a pega da chapa metálica que serve de calço ao macaco plano coincidia com o alinhamento nº2.

● Ensaio 5

Descrição	Leituras (mm)				
	Alinh. 1	Alinh. 2	Alinh. 3	Alinh. 4	
Leituras iniciais antes da abertura do rasgo	293.442	294.212	[5]	294.447	
	293.432	294.213	[5]	294.435	
	293.437	294.215	[5]	294.441	
Valor médio	293.437	294.213	[5]	294.441	
Leituras após o rasgo	293.396	294.207	[5]	294.424	
	293.395	294.204	[5]	294.426	
Valor médio	293.396	294.206	[5]	294.425	
Pi (kPa)	Pf (kPa)				
105.0	104.0	293.411	294.207	[5]	294.429
212.0	209.0	293.432	294.213	[5]	294.432
311.0	302.0	293.483	294.290	[5]	294.448
404.0	394.0	293.543	294.375	[5]	294.462

● Ensaio 9

Leituras iniciais antes da abertura do rasgo	302.859	301.361	297.830	[6]
	302.854	301.361	297.827	[6]
	302.852	301.358	297.824	[6]
Valor médio	302.855	301.360	297.827	[6]

Leituras após o rasgo	302.850	301.348	297.812	[6]
	302.843	301.348	297.815	[6]
Valor médio	302.847	301.348	297.814	[6]

Pi (kPa)	Pf (kPa)				
102.0	98.0	302.843	301.358	297.819	[6]
206.0	201.0	302.853	<b>301.368</b>	297.820	[6]
<b>306.0</b>	<b>298.0</b>	<b>302.887</b>	<b>301.399</b>	<b>297.832</b>	[6]

**Tabela 3:** Leituras das distâncias entre miras, nas várias fases dos ensaios simples 5 e 9.

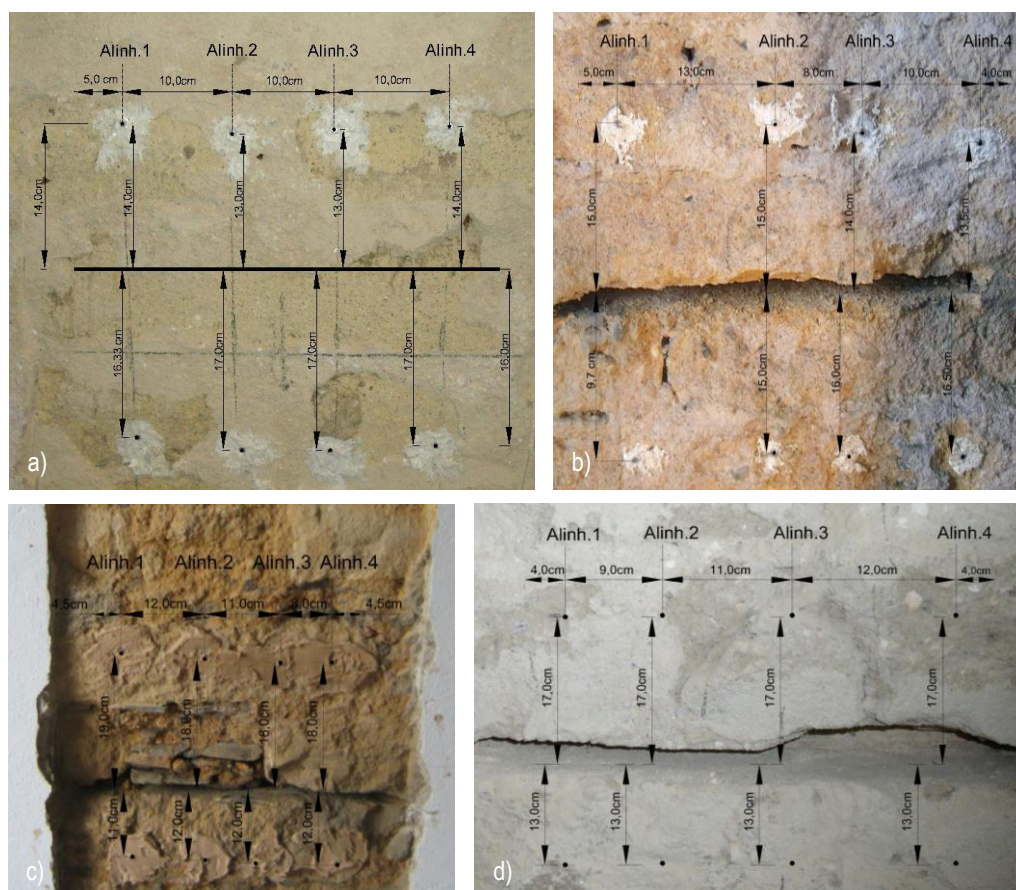
Referir ainda, relativamente aos elementos fornecidos pelas tabelas apresentadas, que a quantidade de leituras realizadas por alinhamento diferiu nas três fases em função do rigor que se pretendia em cada uma delas e da possibilidade de o fazer. Se por um lado, a leitura das distâncias

[5] – O alinhamento nº3 foi colocado do mesmo modo que os restante embora a distância entre miras tenha ficado de tal forma que não foi possível realizar leituras com o alongâmetro. Esta situação aconteceu devido à dificuldade que existe na colagem das miras com a resina epoxy de dois componentes.

[6] – O alinhamento nº4, embora tenha sido também aplicado, quando se iniciou as leituras observou-se que as miras não tinham ficado bem coladas e as leituras efectuadas eram muito díspares.

entre miras antes da abertura do rasgo se realizou por três vezes (cálculo posterior da média), por ser da maior importância o rigor do seu valor e um referencial para o restante ensaio simples, por outro lado, a leitura das distâncias entre os vários ciclos de incremento de carga só era possível efectuar uma vez porque a pressão lida no transdutor de pressão ia diminuindo, mesmo que ligeiramente, durante a leitura das distâncias entre miras, função da pressão exercida pelo relaxamento da parede. Na fase intermédia, de leituras após o rasgo, foram realizadas duas leituras por alinhamento (cálculo posterior da média). Referir ainda que o critério para o número de leituras não vem convencionado em nenhum documento normativo mas, por se tratar de leituras realizadas com um aparelho de medição (alongâmetro) com uma precisão muito elevada (0.001mm), entendeu-se benéfico para o rigor do trabalho realizar as leituras indicadas nas tabelas 2 e 3 em cada uma das fases do ensaio.

Na figura 25 estão representadas, para uma melhor visualização, a disposição dos alinhamentos verticais dos ensaios simples 1-3-5-9:



**Figura 25:** Disposição dos alinhamentos verticais nos ensaios simples 1-3-5-9.

#### 4.3.2.3 Tratamento dos dados recolhidos

Depois de realizados os procedimentos no trabalho de campo, os elementos recolhidos foram tratados da seguinte forma:

- Cálculo do coeficiente  $K_a$ , adimensional ( $< 1.0$ ), através da leitura da área efectivamente carregada, aproximada, durante o ensaio simples. Para a obtenção deste valor foi necessário colocar, juntamente com o macaco plano entre este e as superfícies da parede no interior do rasgo, um registo com papel branco (com espessura considerável) e papel químico onde ficasse marcado o contacto entre o macaco plano e a superfície do rasgo.<sup>[7]</sup>

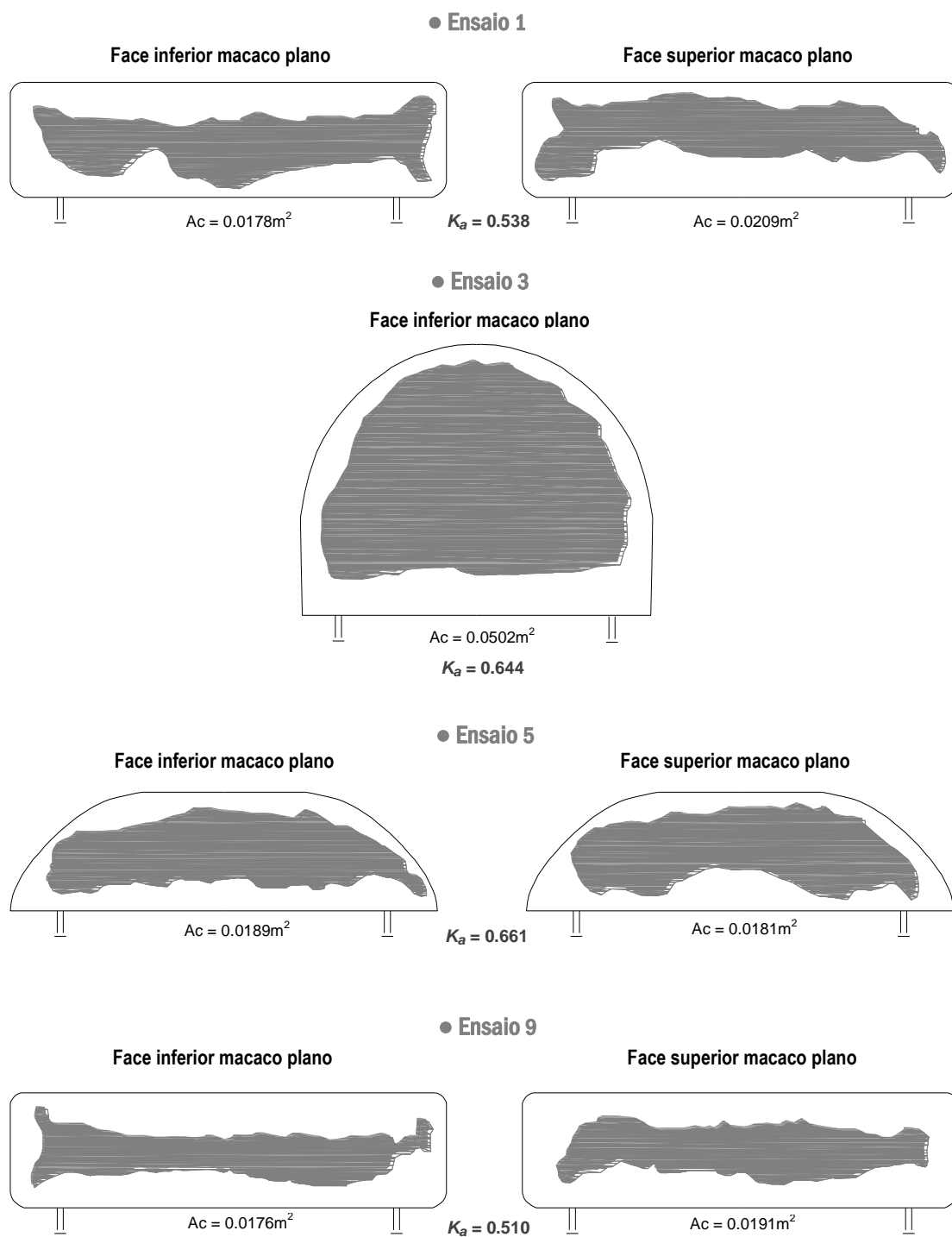
Na totalidade dos ensaios realizados, os registos com a área de carregamento nos macacos planos dos ensaios simples só foram retirados no final dos ensaios duplos (ponto 4, sub-cap. 4.4). Como a pressão submetida à parede nos ensaios duplos é superior à pressão provocada pelos ensaios simples, previsivelmente, a área de carregamento calculada e obtida, através dos registos recolhidos, será superior à área efectivamente carregada durante os ensaios simples. De forma a mitigar as consequências nos resultados finais deste efeito, foi consultada bibliografia <sup>[8]</sup> onde são indicados  $K_a$ 's para as duas situações de carregamento (campanha de ensaios realizada em edifícios na Baixa de Coimbra), sendo possível a partir daí extrair uma relação do diferencial entre o contributo do carregamento nos ensaios simples e os ensaios duplos. Considerou-se uma correcção de trinta e quatro por cento (34%) dando assim lugar aos  $K_a$ 's corrigidos (tabela 4).

- O valor do  $K_m$  como já foi referido na capítulo anterior, é o coeficiente adimensional ( $< 1.0$ ), obtido de acordo com o procedimento de calibração <sup>[1]</sup> e que reflecte a rigidez do macaco plano e o atrito do sistema hidráulico. No ponto 5 do sub-capítulo 4.4, é apresentada, de forma genérica, a forma de obtenção deste coeficiente que pode também ser fornecido directamente pelo fabricante do macaco plano.

[7] – A área de contacto aproximada foi obtida recorrendo a uma ferramenta informática de desenho (Autocad).

[8] – Tese de Doutoramento de Romeu Vicente: “Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana. Avaliação da vulnerabilidade e do risco sísmico do edificado da Baixa de Coimbra.”, 2008.

Na figura 26 estão representados os registos da área máxima carregada obtidos nos macacos planos inferiores, usados para a realização dos ensaios simples e duplos 1-3-5-9.



**Figura 26:** Registos obtidos relativos à área máxima carregada ( $K_a$ ) nos ensaios simples 1-3-5-9.

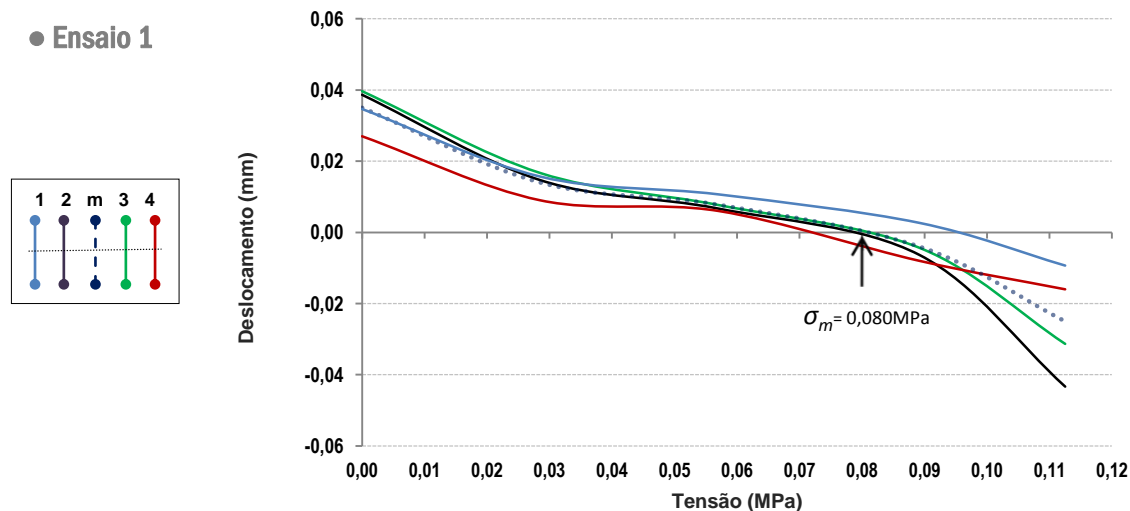


Na tabela 4 são apresentados, de forma resumida, as características dos macacos planos e os valores dos coeficientes de correcção dos ensaios simples 1-3-5-9.

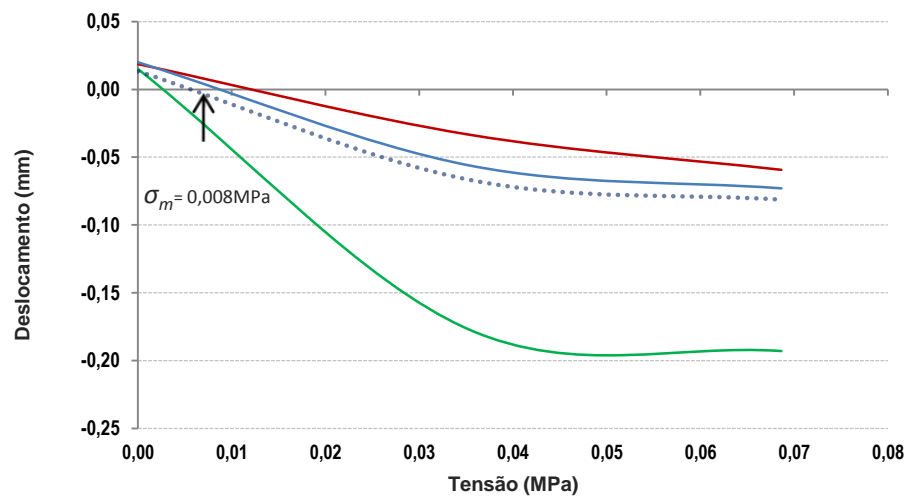
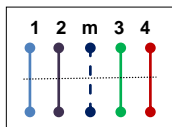
	Ensaio nº 1	Ensaio nº 3	Ensaio nº 5	Ensaio nº 9
Macaco ref. <sup>a</sup>	MR_2	MC_1	MSO_2	MR_1
Secção do macaco	rectangular	semi-circular	semi-oval	rectangular
$K_m$	0.773	0.850	0.830	0.739
Área total macaco (m <sup>2</sup> )	0.036	0.078	0.028	0.036
Área carregamento (m <sup>2</sup> )	0.019	0.050	0.019	0.015
$K_a$	0.538	0.644	0.661	0.510
$K_a$ (Corrigido)	0.355	0.425	0.436	0.337

**Tabela 4:** Valores dos coeficientes de correcção  $K_m$  e  $K_a$  nos ensaios simples 1-3-5-9.

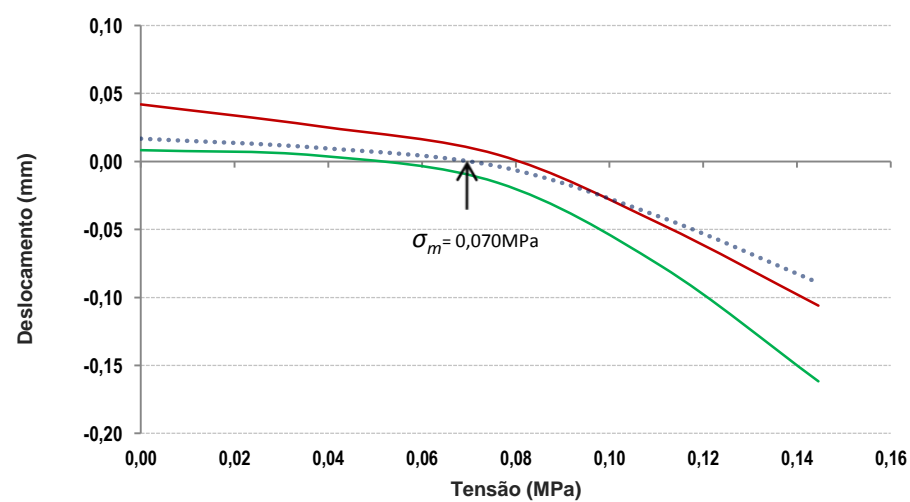
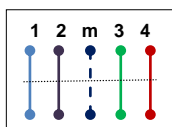
Na figura 27 são apresentados os gráficos, relativos aos ensaios simples 1-3-5-9 (os restantes ensaios estão no anexo A), onde se observa a evoluções dos deslocamentos em função da tensão aplicada pelo macaco plano, em cada um dos alinhamentos verticais. A partir dos resultados em termos de deslocamento e após correcção dos valores da pressão instalada no macaco plano pela expressão (1), usando os valores dos coeficientes  $K_m$  e  $K_a$ , é estimada a tensão instalada na parede (ao nível da secção onde foi realizado o ensaio) pela média dos registos da evolução das deformações dos alinhamentos.



● Ensaio 3



● Ensaio 5



● Ensaio 9

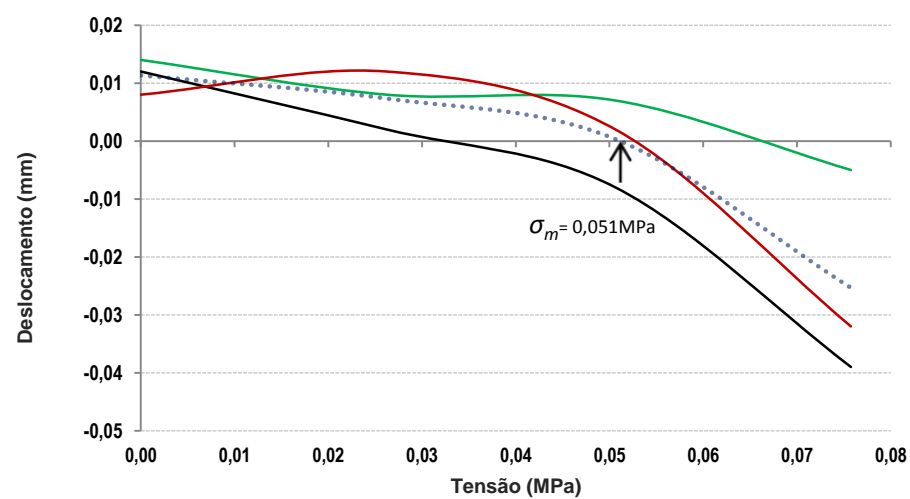
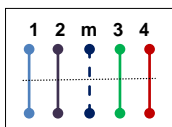


Figura 27: Gráficos com os deslocamentos relativos de cada alinhamento com identificação do valor estimado da tensão instalada.

Referir ainda que em todos os ensaios simples foram sempre instalados inicialmente quatro alinhamentos verticais, embora em alguns ensaios, pelas mais variadas razões, algumas já explicadas anteriormente, nem sempre foi possível obter-se a completa evolução dos deslocamentos em todos esses alinhamentos. Destacam-se os ensaios 1-6-8 onde foi possível obter-se a evolução completa dos deslocamentos nos quatro alinhamentos verticais.

#### 4.3.2.4 Comparação e discussão dos resultados

Na tabela 5 estão indicados os valores das tensões estimadas com base em cálculos expeditos, obtidos de acordo com os possíveis levantamentos efectuados em cada edifício, e as tensões estimadas com base nos ensaios simples realizados. Além da informação sobre a variação verificada entre as diferentes estimativas para a tensão estimada, são também descritas algumas observações particulares sobre cada ensaio.

Ensaio	Tensão estimada por cálculo (MPa)	Tensão estimada pelo ensaio (MPa)	Variação (%)	Observações
<b>1</b>	0.081	0.080	-1%	Variação aceitável.
2	0.081	0.011	-86%	Este ensaio foi realizado junto a uma caixa de escadas e como tal é mais difícil o cálculo da tensão estimada, podendo daí advir parte do desvio verificado.
<b>3</b>	0.097	0.008	-92%	Este foi o único ensaio efectuado com macacos planos semi-circulares. Para tal foi necessário realizar os rasgos com serra de água em que o humedecimento da alvenaria pode ter prejudicado os resultados do ensaio.
4	0.097	0.063	-35%	Variação aceitável.
<b>5</b>	0.058	0.070	20%	Variação aceitável.
6	0.041	0.010	-76%	Dificuldade na correcta fixação das miras, o que pode ter influenciado negativamente os resultados obtidos.
7	0.048	0.060	25%	Variação aceitável.
8	0.045	0.038	-16%	Variação aceitável.
<b>9</b>	0.049	0.051	5%	Variação aceitável.

**Tabela 5:** Quadro resumo das tensões instaladas, estimadas por cálculo e pelos ensaios simples nos nove ensaios.

Como se observa através dos dados apresentados, existem algumas disparidades entre os valores da tensão que foram estimados por cálculo e os que foram estimados pelo ensaio *in-situ*. A variação observada pode ser justificada por várias razões:

- i) Dificuldade em estabelecer correctamente as características dos materiais que compõem as paredes e outros elementos de carregamento, assim como a distribuição das cargas para cada uma das paredes;
- ii) A eventualidade de existir núcleos menos resistentes nas zonas ensaiadas ou proximidades, como é o caso de juntas entre blocos maiores que o normal ou a existência de blocos muito degradados, dando origem a uma redução efectiva da parede, associada a algum desaprumo que esta possa apresentar, provoca alguma excentricidade na distribuição das cargas;
- iii) As inerentes ao próprio ensaio (a distribuição de tensão nas paredes não é uniforme) associadas à qualidade e heterogeneidade da constituição da alvenaria que provoca a criação de caminhos preferenciais de carga;
- iv) A presença de humidade nas paredes, mesmo que não seja perceptível à vista desarmada, contribui decisivamente para o desempenho estrutural da alvenaria de adobe.

No que concerne aos nove ensaios realizados é de salientar o intervalo, não muito alargado, dos valores médios para as tensões instaladas [0.008 e 0.080 MPa]. Excluindo os ensaios 2-3-6 em que os valores obtidos aparentam ser anormalmente baixos, os restantes enquadram-se dentro do resultado expectável.

É de referir que em algumas paredes as diferenças nas dimensões dos blocos de adobe e o seu aparelhamento não tão regular quanto desejável, por exemplo, criam situações pontuais, singularidades, que aliadas aos efeitos locais de cada ensaio, resultam num valor de tensão local e não num valor de tensão médio. Durante a campanha de ensaios realizados foram encontradas algumas situações deste tipo e na figura 28 são apresentadas algumas situações que ilustram estas singularidades.



**Figura 28:** Singularidades observadas no ensaio simples: a) núcleo de material formado à base de pedra misturada com terra; b) pedra de grandes dimensões; c) secção de parede com a alvenaria muito heterogénea e danificada.

### 4.3.3 Ensaio duplo

A realização do ensaio duplo é normalmente precedida da realização do ensaio simples, aproveitando-se dessa forma a abertura do rasgo e o macaco plano usados no ensaio simples, na mesma secção da parede.

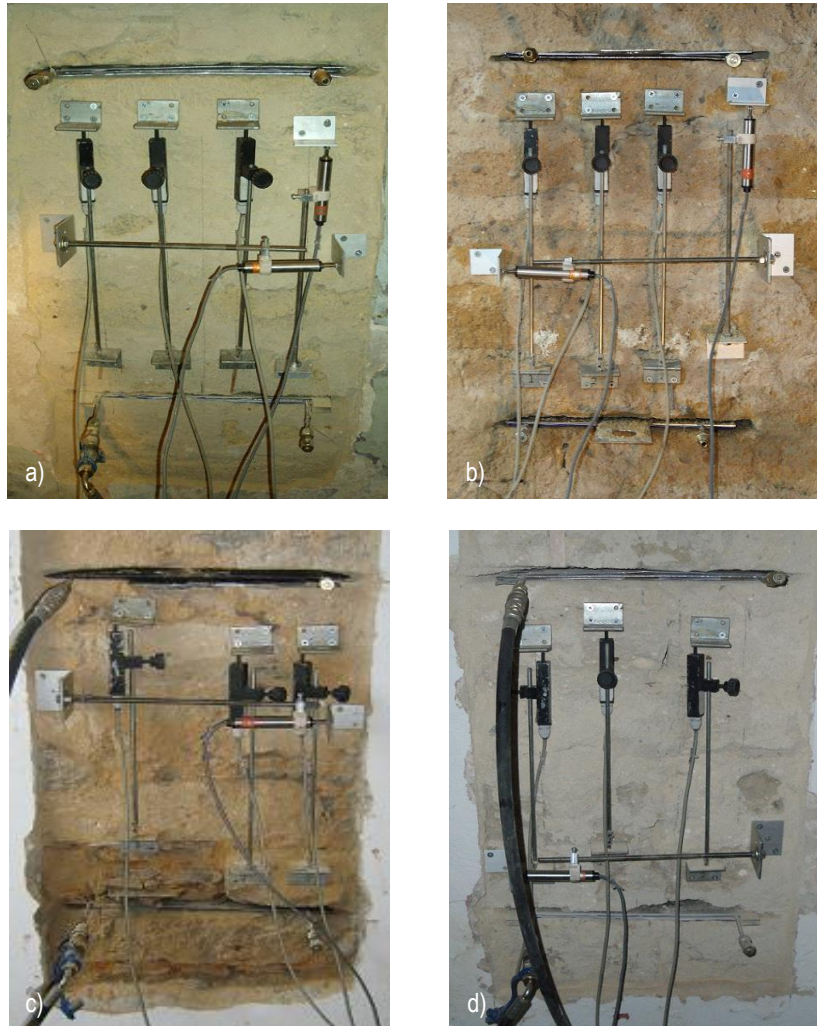
#### 4.3.3.1 Trabalho de campo

O trabalho de campo no ensaio duplo é composto pelas seguintes tarefas:

- Abertura de um segundo rasgo, paralelo ao rasgo realizado para o ensaio simples (consultar ponto 3 do sub-capítulo 4.4), de acordo com as recomendações normativas <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup>, a uma distância máxima de uma vez e meia o comprimento do macaco plano (600mm);
- Marcação dos pontos onde vai ser efectuado o controlo da resposta sentida pela parede, através da fixação dos potenciómetros na parede (em condições normais de fixação quatro verticais e um horizontal), conforme ilustra a figura 29;
- Depois de ambos os macacos planos ligados em paralelo ao sistema de pressurização, são aplicados incrementos constantes de pressão uniaxial estimados de acordo com as características da alvenaria. Nos ensaios realizados optou-se por patamares de 0.20MPa em vários ciclos de carga/descarga. Em paralelo com os ciclos de carga/descarga vão sendo

realizadas as leituras das deformações <sup>[9]</sup> na parede para cada incremento de tensão. O carregamento é levado até à rotura da alvenaria que se verifica pela perda de capacidade resistente desta.

---



**Figura 29:** Imagens com a distribuição dos potenciómetros nos ensaios duplos: a) ensaio nº1; b) ensaio nº3; c) ensaio nº5; d) ensaio nº9.

---

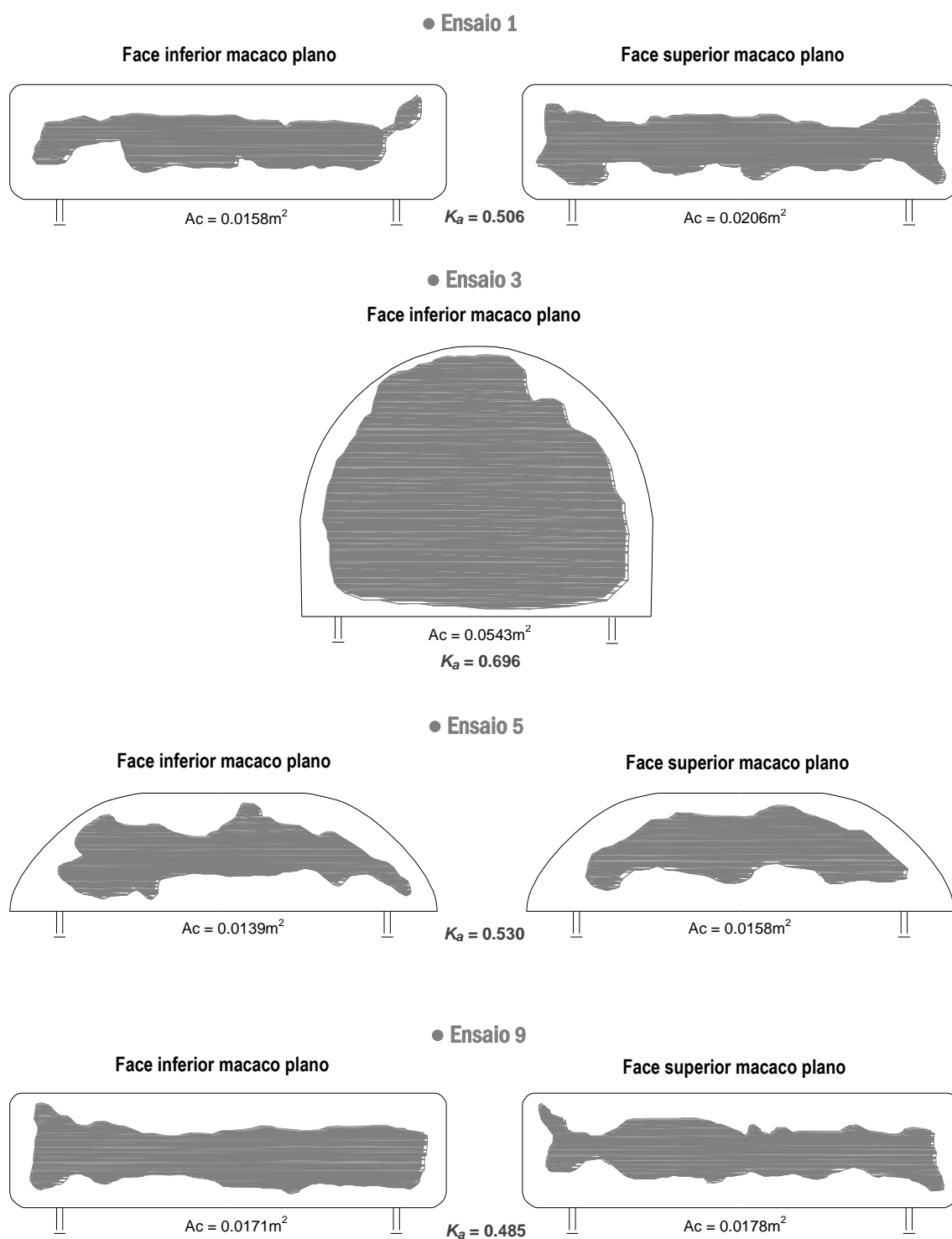
#### 4.3.3.2 Tratamento dos dados recolhidos

Após o trabalho de campo, os elementos recolhidos foram tratados da seguinte forma:

---

<sup>[9]</sup> – A leitura dos deslocamentos e correspondente pressão aplicada, é efectuada através de uma placa de aquisição de dados, da marca N.I., e por uma aplicação desenvolvida em LabView<sup>®</sup>.

- Determinação do coeficiente  $K_a$  (figura 30) relacionado com os registos dos macacos planos dos ensaios duplos (registos obtidos nos macacos planos superiores de cada um dos ensaios).



**Figura 30:** Registos obtidos relativos à área máxima carregada ( $K_a$ ) nos ensaios duplos 1-3-5-9 (macaco plano superior).

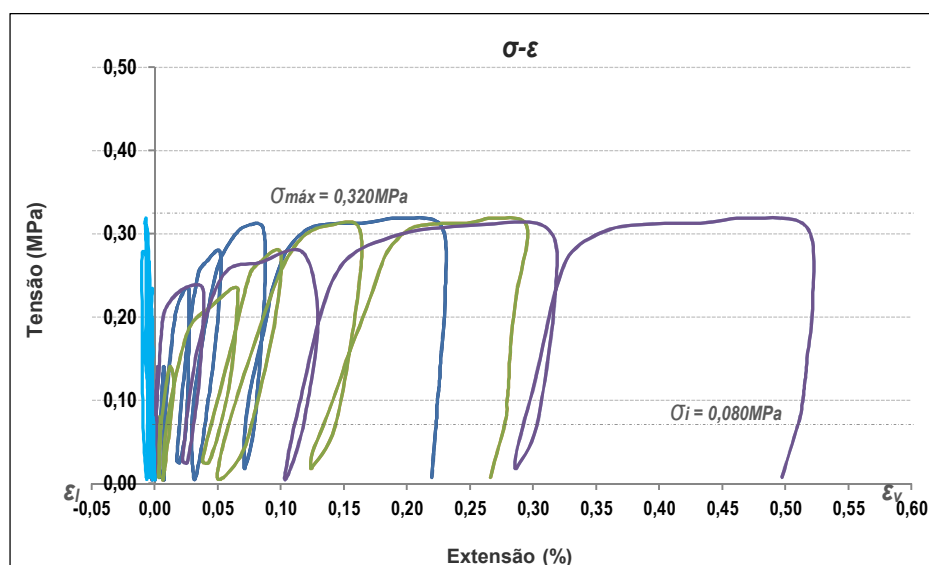
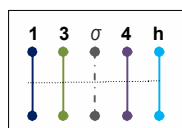
Na tabela 6 estão indicados os valores dos coeficientes  $K_m$  e  $K_a$  para os ensaios duplos 1-3-5-9:

	Ensaio nº 1		Ensaio nº 3		Ensaio nº 5		Ensaio nº 9	
	Simple	Duplo	Simple	Duplo	Simple	Duplo	Simple	Duplo
Macaco ref. <sup>a</sup>	MR_2	MR_3	MC_1	MC_2	MSO_2	MSO_5	MR_1	MR_2
Secção dos macacos	rectangular		semi-circular		semi-oval		rectangular	
$K_m$ (por macaco)	0.773	0.726	0.850	0.850	0.830	0.868	0.739	0.773
$K_m$ (médio)	0.749		0.850		0.849		0.756	
Área total macaco (m <sup>2</sup> )	0.036		0.078		0.028		0.036	
Área carregamento (m <sup>2</sup> )	0.019	0.018	0.050	0.054	0.019	0.015	0.015	0.017
$K_a$ (por macaco)	0.538	0.506	0.644	0.696	0.661	0.530	0.510	0.485
$K_a$ (médio)	0.522		0.670		0.596		0.498	

**Tabela 6:** Valores dos coeficientes  $K_m$  e  $K_a$  nos macacos planos inferiores e superiores dos ensaios 1-3-5-9.

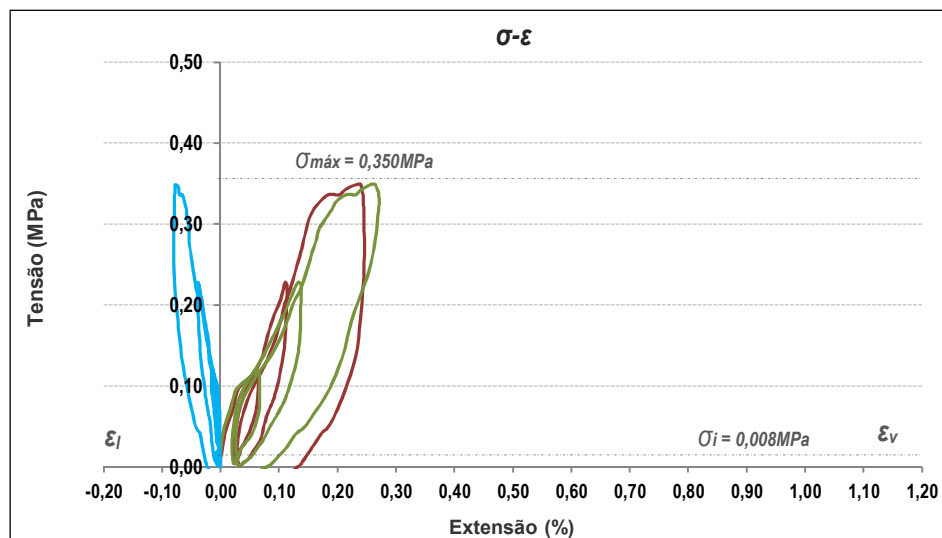
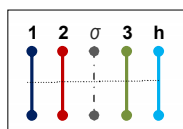
Em cada ensaio duplo foram realizados vários ciclos de carga-descarga sendo o número destes ciclos em função da evolução que o ensaio apresentava, nomeadamente a capacidade resistente da parede. Sabendo os coeficientes de correcção  $K_m$  e  $K_a$  e determinados assim os valores de tensão corrigidos, podem-se definir as relações tensão-deformação obtidas em cada um dos ensaios, conforme os gráficos apresentados de seguida na figura 31 e com elas estimar os parâmetros mecânicos da alvenaria de adobe: módulo de elasticidade inicial, coeficiente de *Poisson* e resistência à compressão.

#### ● Ensaio 1

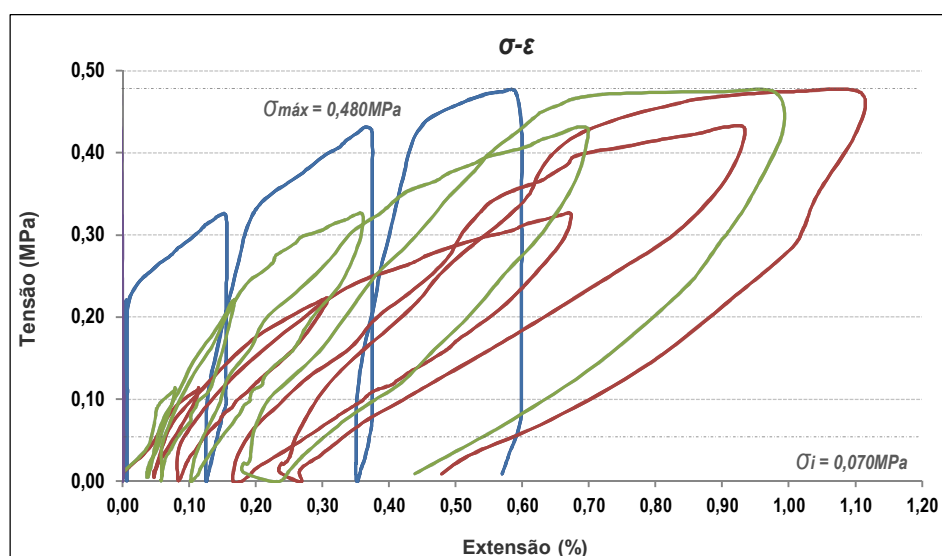
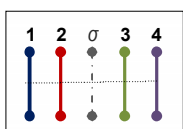




● Ensaio 3



● Ensaio 5



● Ensaio 9

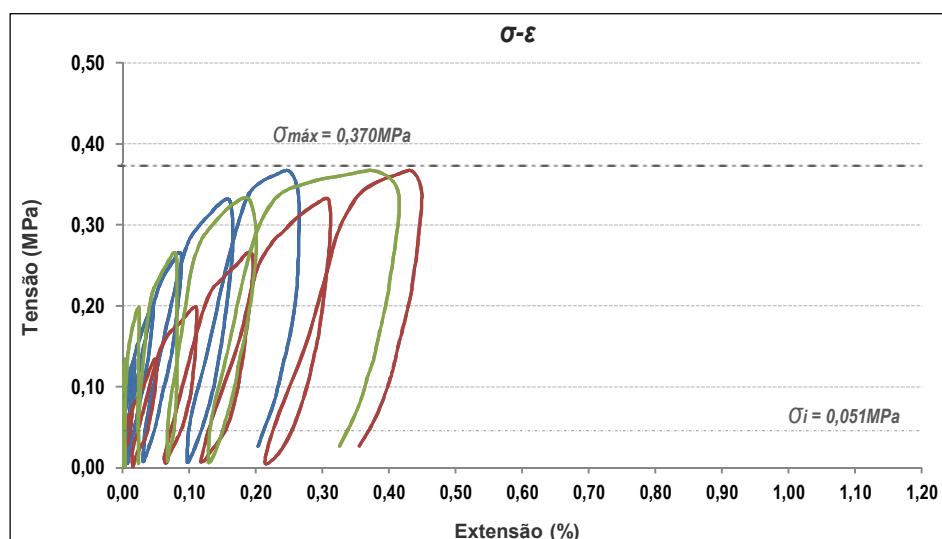
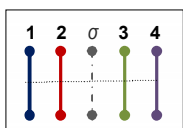
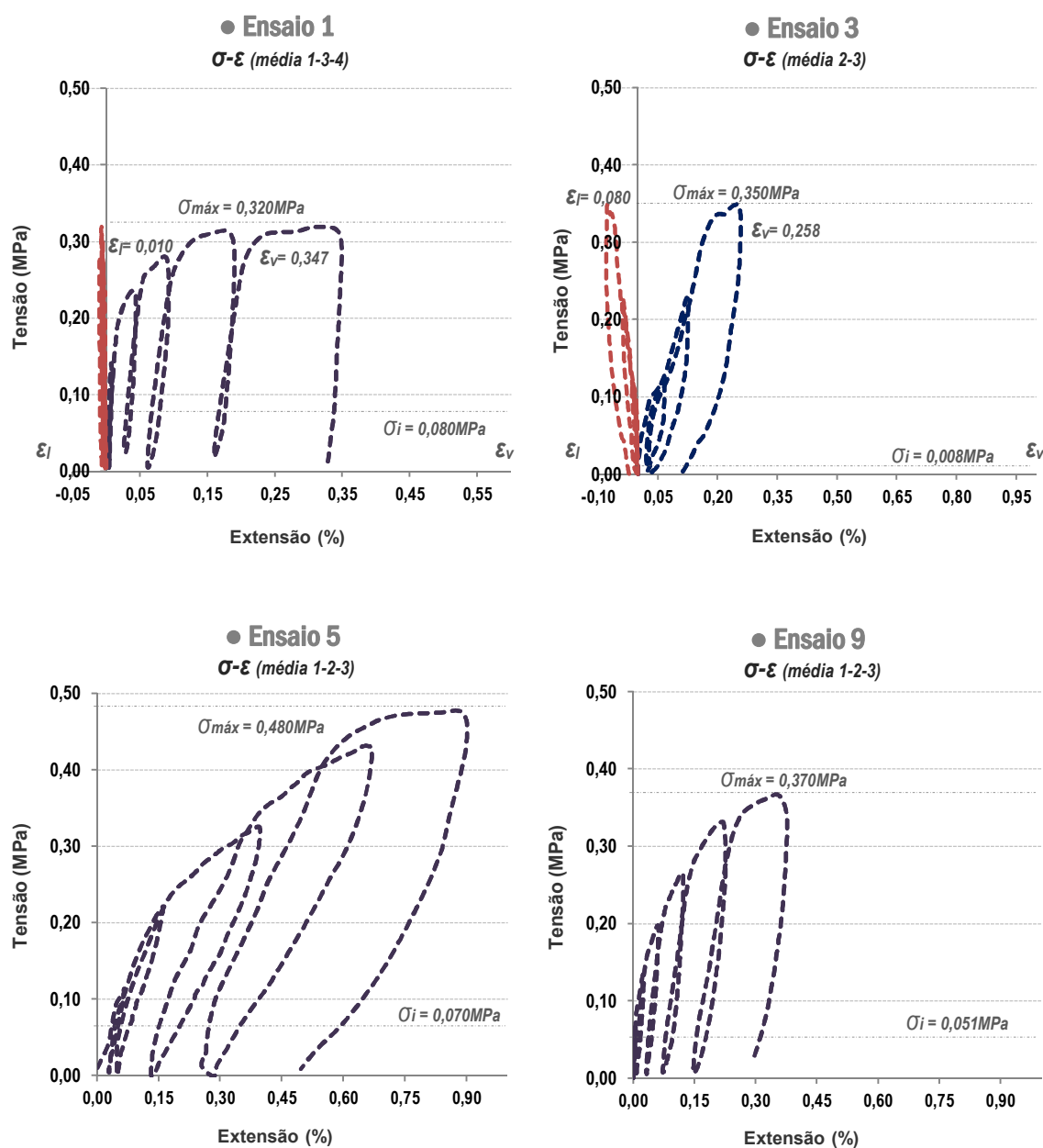


Figura 31: Gráficos com registos em termos de tensão-extensão dos ensaios duplos 1-3-5-9.

**Nota:** Nos gráficos da figura 31 foi definida uma escala padrão para uniformizar a sua apresentação, contudo o ensaio 1 foi apresentado numa escala diferente para facilitar a leitura do comportamento desse ensaio duplo, nomeadamente uma melhor leitura dos vários ciclos de carga-descarga.

A partir dos registos dos vários alinhamentos (varia a quantidade de alinhamentos considerados em cada um dos ensaios), foi calculada a deformação média permitindo desta forma obter a deformabilidade global da secção da parede estudada (gráficos da figura 32).



**Figura 32:** Gráficos com registos em termos de tensão-extensão média obtidos nos ensaios duplos 1-3-5-9.

#### 4.3.3.3 Estimativa do módulo de elasticidade inicial ( $E_0$ ) e do coeficiente de Poisson ( $\nu$ )

De acordo com o que já foi referido no capítulo anterior, o módulo de elasticidade médio da alvenaria é estimado a partir da curva tensão-extensão média obtida nos ensaios duplos, nomeadamente através do primeiro ciclo de carga-descarga (considerado somente o tramo do ciclo relativo à carga) e ainda de acordo com a equação (2). À semelhança dos procedimentos tidos para obtenção dos resultados da estimativa da tensão instalada e da resistência à compressão, também para determinar o módulo de elasticidade inicial ( $E_0$ ) é necessário ter em consideração a correcção dos valores da tensão pelos coeficientes  $K_m$  e  $K_a$ .

A extensão média correspondente a cada ponto onde a deformação foi monitorizada, nomeadamente através do declive da curva do primeiro ciclo de carga-descarga (tramo do ciclo relativo à carga), é representada no gráfico da figura 33 (ensaio 8).

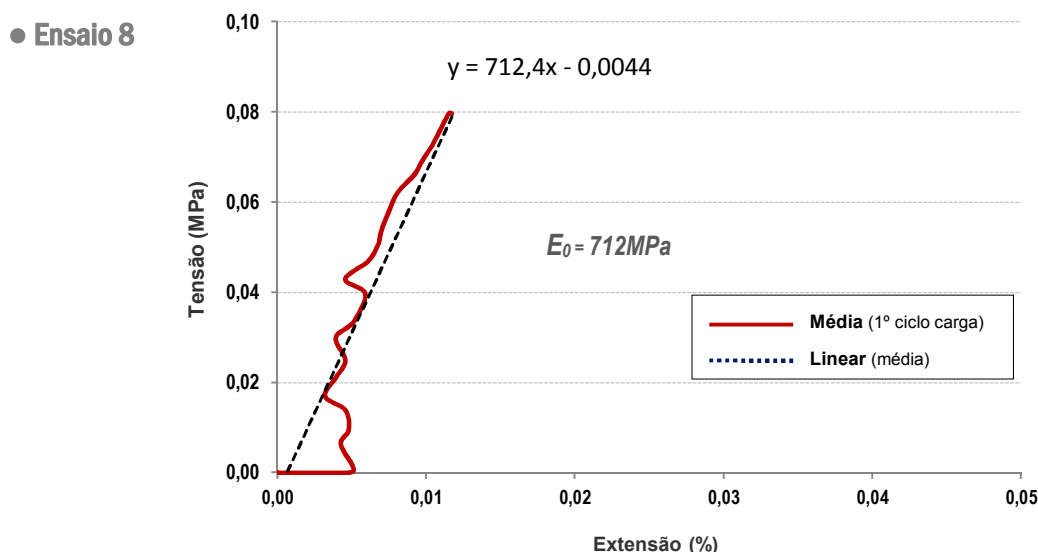


Figura 33: Estimativa do módulo de elasticidade ( $E_0$ ) da parede do ensaio duplo 8.

Da recta de tendências observada no gráfico extraiu-se então o valor de  $E_0$  da parede, tendo sido escolhido representar o gráfico do ensaio 8 por ser neste que o valor de  $E_0$  se aproxima mais da média obtida para a totalidade dos ensaios (tabela 8). O mesmo procedimento foi adoptado para os restantes ensaios e os resultados são apresentados na tabela 7.

Foram ainda estimados os valores dos coeficientes *Poisson* ( $\nu$ ) <sup>[10]</sup> nos ensaios 1-2-3 por ter sido possível somente nestes ensaios (nos restantes não foi possível obter registo [n.r.]) recolher satisfatoriamente os registos dos deslocamentos laterais (transversais) das secções das paredes ensaiadas nos ensaios duplos.

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9
$E_0$ (MPa)	1 734	594	235	423	988	478	1 133	712	291
$\nu$ (reg. elástico)	0.11	0.02	0.31	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.

**Tabela 7:** Módulos de elasticidade ( $E_0$ ) e coeficientes de *Poisson* ( $\nu$ ) obtidos dos ensaios duplos.

#### 4.3.3.4 Comparação e discussão dos resultados

De seguida expõe-se uma síntese dos resultados mais importantes observados (tensões instaladas pelo ensaio simples, tensões máximas à compressão, módulo elasticidade médio inicial e coeficiente de *Poisson*) para os nove ensaios, apresentados na tabela 8.

	$\sigma_i$ ensaio (MPa)	$\sigma_{\text{máx.}}$ (MPa)	Coefficiente de segurança $\sigma_{\text{máx.}} / \sigma_i$	$E_0$ (MPa)	Coefficiente <i>Poisson</i> ( $\nu$ )
Ensaio 1	0.080	0.320	4.0	1 734	0.03
Ensaio 2	0.044	0.380	8.6	594	0.02
Ensaio 3	0.008	0.350	43.8	235	0.31
Ensaio 4	0.063	0.400	6.4	423	n.r.
Ensaio 5	0.070	0.480	6.8	988	n.r.
Ensaio 6	0.040	0.420	10.5	478	n.r.
Ensaio 7	0.060	0.460	7.7	1 133	n.r.
Ensaio 8	0.038	0.350	9.2	712	n.r.
Ensaio 9	0.051	0.370	7.3	291	n.r.
Médias:	0.060	0.39	6.9	721	0.12

**Tabela 8:** Principais resultados obtidos nos ensaios simples e duplos.

<sup>[10]</sup> – Coeficiente de *Poisson* ( $\nu$ ) é a razão entre a deformação transversal ( $\varepsilon_t$ ) associada a uma deformação longitudinal ( $\varepsilon_v$ ) na direcção do esforço de tracção.

Relativamente às tensões instaladas, designadamente a relação entre as expectáveis por cálculo e as estimadas pelo ensaio, já foram tecidos alguns comentários no sub-capítulo anterior. Referir contudo, em suma, que, à excepção dos ensaios 2-3-6, os resultados obtidos podem ser considerados como satisfatórios, havendo nos restantes um desvio, em média, de 17% face ao expectável.

No que concerne aos resultados da tensão máxima de resistência à compressão registada, pode-se referir que o intervalo de valores [0.32-0.48MPa] é relativamente curto, o que permite extrair com alguma segurança um valor padrão (média a considerar  $\sigma_{\text{máx}}=0.39\text{MPa}$ ) para este parâmetro mecânico nos nove ensaios realizados, em paredes de alvenaria de adobe. Relativamente aos resultados obtidos em cada um dos edifícios pode-se concluir que: edifício 1  $\rightarrow \sigma_{\text{máx}}=0.35\text{MPa}$ ; edifício 2  $\rightarrow \sigma_{\text{máx}}=0.38\text{MPa}$ ; edifício 3  $\rightarrow \sigma_{\text{máx}}=0.48\text{MPa}$ ; edifício 4  $\rightarrow \sigma_{\text{máx}}=0.40\text{MPa}$ . Curiosamente é no edifício 3, onde expectavelmente a qualidade da alvenaria de adobe seria mais fraca por estar inserido num meio rural (de recursos mais modestos), que foi registado o maior valor da resistência à compressão nas paredes de alvenaria de adobe ensaiadas.

Quando comparados entre si os resultados obtidos para os dois parâmetros anteriores (tensão instalada e tensão máxima à compressão), pode-se daí inferir, indirectamente, o nível de segurança actual destas alvenarias relativamente às acções verticais a que estão sujeitas. Excluindo-se novamente os ensaios 2-3-6, em virtude dos fracos resultados obtidos nos ensaios simples, pode-se concluir que o valor determinado da tensão de resistência à compressão máxima registada é consideravelmente superior à tensão instalada nas paredes, associando-se um coeficiente de segurança às acções verticais elevado (coeficiente de segurança médio é de 6.90, o menor valor encontrado é de 4.00).

Ainda dos resultados e relativamente ao módulo de elasticidade inicial ( $E_0$ ), constata-se que existe uma significativa dispersão dos valores encontrados [235-1734MPa], porquanto o número de ensaios poderá ter sido insuficiente para determinar com maior precisão um padrão para este tipo de alvenarias. Contudo, se excluídos os ensaios 1-3-9 em que os seus valores estão manifestamente desenquadrados com os restantes, pode-se determinar um valor médio para  $E_0=721.0\text{MPa}$ . Relativamente ao coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) só nos ensaios 1-2-3 é que se conseguiu tomar registos, com algum significado, das deformações laterais (horizontais) sendo que a média dos três coeficientes calculados nesses ensaios é de  $\nu=0.15$ .

#### 4.4 Aspectos relacionados com o ensaio de macacos planos aplicados a paredes de alvenaria de adobe

A campanha de ensaios de macacos planos que foi levada a efeito em vários edifícios de zonas distintas da região de Aveiro, objecto deste documento, permitiu identificar algumas questões específicas relacionadas com a realização deste tipo de ensaios em paredes de alvenaria de adobe. Não sendo conhecida investigação relacionada com este tema, reveste-se portanto da maior importância assinalar os aspectos que, mesmo que não sejam de especial relevância no contributo ao apuramento dos resultados, foram identificados durante os vários ensaios por terem levantado problemas e/ou dificuldades ao seu normal desenvolvimento.

A ordem pela qual serão enunciadas não significa qualquer espécie de relevância na importância de cada uma relativamente às restantes, mas sim com o desenvolvimento, por ordem cronológica, das diversas fases dos ensaios simples e duplo.

##### 4.4.1 Remoção da camada de revestimento

Nos primeiros ensaios realizados, colaram-se as miras, que definem os alinhamentos verticais no ensaio simples, sobre a pintura de cal que cobria a camada de reboco com super-cola. Quando se procedeu às primeiras leituras, verificou-se que a pequena pressão exercida pelo alongâmetro, durante a operação de leitura, era suficiente para fazer descolar as miras. Tal deve-se ao facto de já terem sido aplicadas diversas demãos de tinta, em ocasiões distintas, não havendo ligação entre elas (figura 34). Posteriormente, já numa fase mais avançada do ensaio simples, quando se procedia



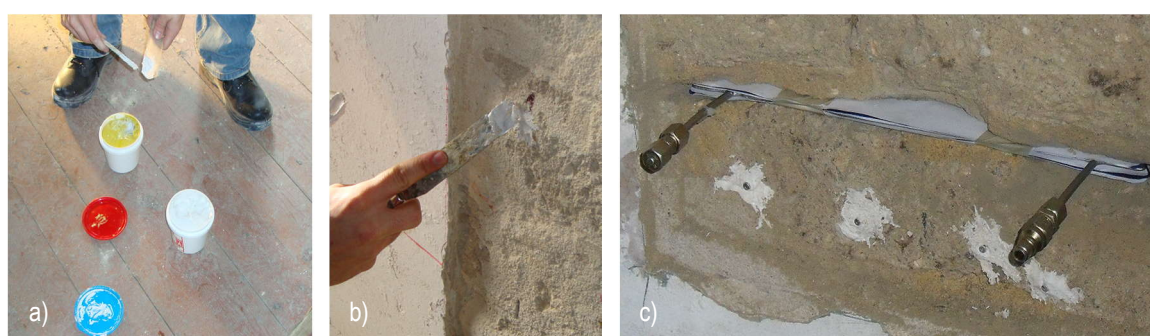
**Figura 34:** Aplicação de miras sobre tinta: a) descolagem da mira superior do alinhamento 4 (ensaio simples 6); b) pormenor das várias demãos de tinta aplicada e o seu estado deteriorado.

---

às leituras após a abertura do rasgo e nos vários patamares de incrementos de carga, verificou-se que os valores não apresentavam a evolução expectável e desejada. A explicação para esta situação prende-se com o facto de, em grandes áreas das paredes neste tipo de construções, a ligação entre a camada de reboco e a própria parede (interior constituído pelos blocos de adobe e juntas de ligação) não se encontrar nas melhores condições e provocar movimentos distintos entre os interfaces das duas superfícies. Este tipo de patologia, relativamente comum em qualquer tipo de construção em virtude da perda de eficácia dos seus materiais constituintes ao longo do seu tempo de vida, é potenciada nas construções com paredes de alvenaria de adobe porque os blocos que lhe dão forma são constituídos, na sua esmagadora maioria, por areia e silte o que dificulta o processo de ligação, duradouro, entre as duas superfícies.

#### 4.4.2 Aplicação das miras

Da leitura atenta das experiências já realizadas com ensaios de macacos planos e de testemunhos recolhidos junto de outros colegas que também realizaram estes ensaios, é prática comum a colagem das miras ser feita com super-cola. Como já foi explicado no ponto anterior, os blocos de adobe são constituídos essencialmente por partículas finas que não estão totalmente aglutinadas entre elas (não estiveram expostas a processo de cozimento o que facilita a segregação das partículas) o que dificulta, irremediavelmente, a colagem eficaz entre as duas superfícies (figura 35). Depois de identificado o problema optou-se pela utilização de cola à base de resina epoxídica<sup>[11]</sup>, de duas



**Figura 35:** Colagem das miras para o ensaio simples: a) mistura dos dois componentes; b) aplicação da cola (resina epoxídica); c) vista de quatro miras coladas para o ensaio simples.

[11] – As resinas epoxídicas constituem uma família de materiais poliméricos termoendurecíveis, que não dão origem a produtos de reacção durante a sua cura e que, portanto, têm uma pequena retracção durante a cura. Estas resinas têm também uma boa adesão a outros materiais, boa resistência química e boas propriedades mecânicas.



componentes, e aplicada sobre uma área maior quanto possível (aproximadamente 2 cm<sup>2</sup>) para dificultar a descolagem durante o processo de leituras. O uso deste tipo de cola, em detrimento da usual super-cola, obriga a maiores cuidados no seu manuseamento, nomeadamente: boa mistura dos dois componentes, o seu *pot life* <sup>[12]</sup> e a limpeza adequada.

#### 4.4.3 Abertura dos rasgos

A abertura dos rasgos na parede para inserção dos macacos planos é uma operação que requer o máximo de perícia, não descurando obviamente os aspectos relacionados com a segurança nesta operação, pelo facto do corte ter de se ajustar ao máximo às dimensões dos macacos (o macaco semi-circular, usado no ensaio nº3, em virtude das suas dimensões, obrigou à realização de um rasgo mais profundo e dificultando ainda mais a operação de corte) que vão ser usados e sobretudo ao paralelismo necessário entre os dois rasgos e entre os rasgos e o plano perpendicular à parede.



**Figura 36:** Dificuldades na abertura de rasgos para inserção dos macacos planos: a) pedras de dimensões maiores; b) obtenção de paralelismo entre os dois rasgos.

---

[12] – É o período de tempo que um sistema à base de resina catalisado mantém uma baixa viscosidade, suficiente para ser usado no processamento. Este termo também é conhecido por vida activa ou vida útil.



Pese embora esta operação seja aparentemente mais fácil nas paredes de alvenaria de adobe, função das características do material que constitui os blocos e as juntas, não se afigura uma operação simples, conforme ilustram algumas imagens da figura 36.

Outra particularidade na abertura dos rasgos neste tipo de paredes tem a ver com o facto do material cortado ser muito fino e como tal responsável por grande projecção de poeiras, prejudiciais à operação de corte.

#### 4.4.4 Registo da área máxima carregada entre o ensaio simples e o ensaio duplo

Os registos que se colocam entre os macacos planos e as faces dos rasgos realizados nas paredes, para obtenção das áreas máximas carregadas durante cada um dos ensaios, deveriam ser retirados após a conclusão de cada um dos ensaios simples para assim se poder determinar a sua real influência. Acontece, porém, que as paredes de alvenaria de adobe e nomeadamente as arestas exteriores formadas pela abertura dos rasgos, dada a sua constituição, são muito pouco resistentes à operação de retirada e posterior colocação do macaco plano do ensaio simples. No primeiro ensaio tentou-se realizar esta operação mas desde logo se verificou que ia colocar em risco a integridade das superfícies do rasgo. Para esta situação contribuiu decisivamente o facto do macaco plano, depois de aumentada a sua pressão interior devido aos vários incrementos de carga no ensaio simples, ampliar o seu volume e dificultar assim o processo de retirada do rasgo, conforme se pode verificar pelas imagens da figura 37.



**Figura 37:** Aumento do volume dos macacos planos depois de pressurizados e a consequente dificuldade em retirá-los sem danificar.

Tal como referido anteriormente (sub-capítulo 4.3.2), tomou-se a opção, na totalidade dos ensaios realizados, de não se retirar os registos com a área máxima carregada durante os ensaios simples mas somente no final dos ensaios duplos. Tendo por base os resultados obtidos no documento supra citado <sup>[8]</sup> e apresentados na tabela 9, foi determinado um valor de correcção na ordem dos 34% ( $K_a$ 's corrigidos).

	Ensaio nº 2	Ensaio nº 3	Ensaio nº 5	Ensaio nº 9	Média obtida dos registos
$K_a$ (ensaio simples)	0.529	0.412	0.609	0.416	<b>34.0%</b>
$K_a$ (ensaio duplo)	0.659	0.563	0.712	0.662	
Relação entre registos	24.6%	36.7%	16.9%	59.1%	

**Tabela 9:** Relação obtida entre os registos dos ensaios simples e duplos [Vicente, 2008].

#### 4.4.5 Registo da fissuração

A aspecto homogéneo que apresentam as paredes de alvenaria, designadamente os blocos de adobe que as constituem, assim como a fraca consistência do seu material, permite visualizar com alguma facilidade os registos de fissuração que a parede apresenta durante e, sobretudo, após a realização do ensaio duplo. Na figura 38 são apresentadas algumas imagens de registos de fissuração bem visível e de destacamentos de material das paredes. Alguma desta fissuração quando ocorre junto às proximidades dos rasgos realizados para inserção dos macacos com relativa facilidade dá origem a destacamentos, mesmo que só visíveis, alguns deles, após a operação de retirada dos macacos planos dos rasgos.



**Figura 38:** Imagens com registos de fissuração e destacamentos de material das paredes.

#### 4.4.6 O coeficiente de correcção $K_m$

O valor do coeficiente  $K_m$  (valor adimensional e menor que a unidade) é obtido de acordo com o procedimento de calibração (norma ASTM C1197-91) e reflecte a rigidez do macaco plano e o atrito do sistema hidráulico. Embora seja um dado que possa ser fornecido pelo fabricante, quando necessário pode ser determinado e o processo utilizado, no laboratório DEC-UA, foi o seguinte:

- i) São necessários os seguintes equipamentos: prensa mecânica; chapas com espessura e rigidez suficientes para permitir a prensa do macaco plano; sistema de pressurização do macaco plano (bomba hidráulica usada nos ensaios); sistema de registo e aquisição de dados (evolução das pressões a que vai ser sujeito o macaco plano);
- ii) Depois de purgado todo o óleo do interior do macaco plano é colocado na prensa mecânica o conjunto formado pelo macaco plano e as chapas, sendo então ajustada a 'pressão de equilíbrio' na prensa;
- iii) São aplicados incrementos de carga (força) no sistema de pressurização e consequentemente no macaco plano, em intervalos regulares de 5kN (foi utilizado o intervalo de valores entre 5kN e 30kN) e lidos os valores da reacção na prensa;
- iv) Com os dados anteriores e conhecendo a área do macaco plano e a massa das chapas, é possível calcular, para cada um dos incrementos de carga, o valor da tensão a que está sujeito o macaco plano;
- v) Por fim, o valor do coeficiente  $K_m$  é calculado pela média dos valores obtidos, para cada um dos incrementos de carga, através da relação entre a tensão a que está sujeito o macaco plano e a reacção lida na prensa.

MR_2				
	Força aplicada pela prensa (kN)	Tensão registada na prensa (MPa) (1)	Tensão no macaco plano (MPa) (2)	$K_m$ 's parciais (2) / (1)
Ciclos de carga	5.0	0.336	0.289	0.860
	10.0	0.545	0.428	0.785
	15.0	0.750	0.567	0.756
	20.0	0.943	0.705	0.748
	25.0	1.137	0.844	0.743
	30.0	1.324	0.983	0.743
<b><math>K_m</math> (médio)</b>				<b>0.773</b>

**Tabela 10:** Dados obtidos no procedimento de calibração do macaco plano rectangular MR\_2.





---

## Capítulo 5 Análise experimental

### 5.1 Enquadramento e objectivos

### 5.2 Ensaio de macacos planos realizados nas paredes construídas em laboratório

#### 5.2.1 Construção das paredes

#### 5.2.2 Ensaio simples: estudo da influência do coeficiente $K_a$

##### 5.2.2.1 Procedimento 1: tensão instalada estimada por cálculo expedito (parede 2)

##### 5.2.2.2 Procedimento 2: tensão instalada estimada pelo ensaio simples (parede 2)

##### 5.2.2.3 Comparação e discussão dos resultados

#### 5.2.3 Ensaio duplo

### 5.3 Ensaio de caracterização mecânica do adobe

### 5.4 Resistência à compressão das paredes de alvenaria de adobe pelo EC6

### 5.5 Comparação e discussão dos resultados em termos de resistência à compressão

---

(...)

*Quando entre nós intercambiávamos os nossos resultados no nosso fantástico parecia-nos, e muito justamente, que avançávamos por meio de associações indevidas, de curtos-circuitos extraordinários, a que nos envergonharíamos de dar crédito – se nos tivessem acusado disso. (...)*

*( O Pêndulo de Foucault, de Umberto Eco )*

## **5 Análise experimental**

### **5.1 Enquadramento e objectivos**

A campanha de ensaios de macacos planos realizada nas quatro edificações identificadas no capítulo anterior, permitiu obter muita e útil informação relacionada com as características mecânicas das paredes de alvenaria de adobe, designadamente as que constituem e representam, de alguma forma, este tipo de edificado na região de Aveiro. Não obstante a quantidade e qualidade dos dados recolhidos, mostrou-se necessário realizar alguma investigação adicional de forma a poder-se aferir e comparar (na medida do possível) os resultados obtidos pelos ensaios com os resultados adquiridos por análise experimental.

Tendo em vista este objectivo, foram construídas duas paredes no laboratório do DEC-UA com dimensões muito idênticas e adequadas à realização dos ensaios de macacos planos, pese embora com blocos de adobe de características diferentes, designadamente ao nível das dimensões e da composição dos materiais da sua constituição. Estes blocos de adobe são provenientes de construções que estavam localizadas na cidade de Aveiro e que entretanto foram demolidas.

Foi também realizada uma campanha de ensaios em provetes paralelepípedicos (dos dois tipos de blocos de adobe usados na construção das paredes), tendo sido submetidos a ensaios de flexão e compressão simples, com recurso a uma prensa digital da marca ELE e modelo Multiplex 50-E.

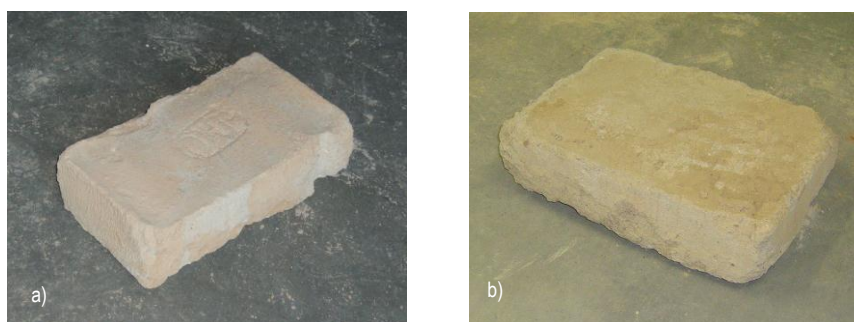
Por último, recorreu-se ao EC6 <sup>[14]</sup> para se determinar a resistência à compressão das paredes de alvenaria em adobe, designadamente através da relação semi-empírica que consta neste

documento, e assim permitir completar e comparar os resultados das formas possíveis de obtenção de um dos parâmetros mais importantes da caracterização mecânica deste tipo de elementos construtivos: a resistência à compressão simples.

## 5.2 Ensaios de macacos planos realizados nas paredes construídas em laboratório

### 5.2.1 Construção das paredes

Para a construção das duas paredes, como já referido no sub-capítulo 5.1, foram usados blocos de adobe (ver figura 39) de características diferentes (dimensões e composição dos materiais na sua constituição) provenientes de construções que estavam localizadas na cidade de Aveiro e que entretanto foram demolidas. Os blocos de adobe usados na construção das paredes foram alvo de uma selecção, evitando o uso de blocos que apresentassem danos visíveis. As dimensões médias dos blocos usados nas duas paredes foram: 1  $[0.41 \times 0.11 \times 0.23 \text{m}^3]$  e 2  $[0.43 \times 0.11 \times 0.30 \text{m}^3]$  - [comprimento x altura x largura], respectivamente.



**Figura 39:** Blocos de adobe usados na construção das paredes 1 (a) e 2 (b).

---

As paredes foram construídas com as dimensões adequadas à realização dos ensaios de macacos planos, nomeadamente ao nível da altura para permitir o cumprimento dos requisitos impostos pelas normas regulamentares, e assentes sobre uma base metálica (perfil UNP) para simular boas condições de suporte e de distribuição de carga. A argamassa utilizada na ligação dos blocos, no fabrico das juntas, era composta pelo traço em volume 1:2:1 (uma medida de cal aérea, duas medidas de areia e uma medida de terra ligeiramente argilosa) e misturada por meio mecânico, com recurso a

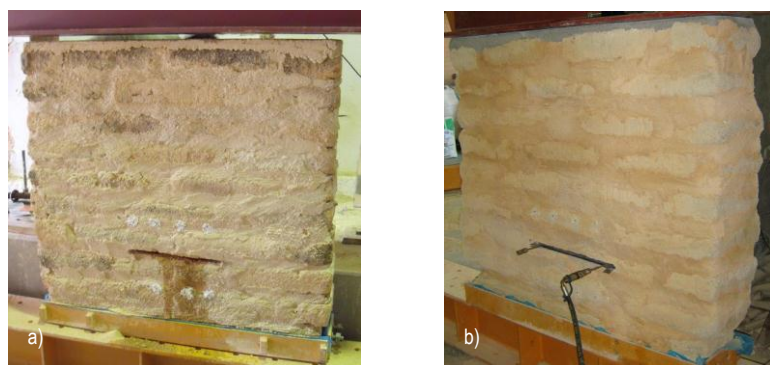


betoneira eléctrica. Os blocos foram dispostos em contrafiada vertical para garantir maior estabilidade às paredes e simular a forma como eram também aplicados nas construções de alvenarias de adobe, tendo sido verificado constantemente, durante a sua execução, o aprumo das paredes. Na figura 40 são apresentadas imagens com a sequência de construção da parede 2.



**Figura 40:** Construção da parede 2.

Na figura 41, são apresentadas imagens das duas paredes após o processo construtivo concluído.



**Figura 41:** Paredes de blocos de adobe construídas no laboratório do DEC-UA: a) parede 1 e b) parede 2.

### 5.2.2 Ensaio simples: estudo da influência do coeficiente $K_a$

Como já referido no terceiro e quarto capítulos, o ensaio simples de macacos planos permite avaliar numa secção da parede, onde é realizado o ensaio, a tensão a que a parede está sujeita face ao carregamento vertical a que está submetida, através de um conjunto de dados recolhidos (leitura das distâncias iniciais e de restabelecimentos dos alinhamentos verticais e leitura das pressões na célula de carga) e pela equação (1).

Sendo possível determinar todas as variáveis da equação, isolando a variável  $K_a$ , que é aquela que se pretende analisar, pode-se comparar os resultados obtidos para a tensão instalada na parede directamente através do ensaio feito em laboratório (procedimento 2) e também por cálculo da tensão instalada estimada (procedimento 1). Desta comparação podem ser extraídas algumas conclusões relativamente à influência deste coeficiente de correcção no cálculo da tensão instalada na secção da parede onde é realizado o ensaio simples recorrendo à equação (1).

Pese embora a virtude do raciocínio, tal não está isento de algumas pequenas imprecisões resultantes de condicionantes intrínsecas ao procedimento experimental. Estas condicionantes, não sendo possível eliminá-las e/ou contabilizá-las, mesmo que possam de alguma forma condicionar os resultados, a sua influência directa não é suficiente para influir no raciocínio do exercício e sobretudo nas conclusões que se pretendem extrair do mesmo. De seguida são enumeradas algumas condicionantes:

- i) A construção das paredes de adobe em laboratório não simula na perfeição as condições reais em que se encontram as paredes de adobe das construções onde foram realizadas os ensaios (descontinuidades, contraventamentos, etc);
- ii) As condições de confinamento das secções das paredes das construções onde foram realizados os ensaios são significativamente diferentes das condições de confinamento das paredes construídas em laboratório;
- iii) Pese embora os elementos das paredes de alvenaria de adobe possam ter 'idades' aproximadas, é certo que as paredes dos edifícios ensaiadas, como conjunto, têm um tempo de vida muito superior (dezenas de anos) às paredes construídas em laboratório;

- iv) O cálculo da tensão instalada estimada nas paredes construídas em laboratório não é totalmente rigoroso. Os valores do peso específico dos elementos que constituem a parede são muito aproximados assim como as dimensões dos blocos de adobe que variam entre eles, mesmo que muito ligeiramente.

Tendo assim por base o exposto, determinou-se a tensão instalada na secção da parede 2, à cota onde foi realizado o rasgo para inserção do macaco plano, das duas seguintes formas que se passam a apresentar.

#### 5.2.2.1 Procedimento 1: tensão instalada estimada por cálculo expedito (parede 2)

Para poder ser determinada a tensão estimada por cálculo é necessário ter presentes alguns dados relacionados com os diversos elementos que compõem o exercício experimental, nomeadamente:

- ▶ peso específico da parede de alvenaria de adobe  $\gamma = 16.67 \text{ kN/m}^3$
- ▶ peso dos elementos que constituem o actuador (acessórios e perfil)  $P_{\text{act.}} = 2.30 \text{ kN}$
- ▶ carga aplicada no actuador varia por cada ciclo de carga

Na figura 42 observam-se algumas imagens do sistema de aplicação de carga (actuador) vertical imposta à parede 2.



**Figura 42:** Sistema de aplicação de cargas verticais.

### ● Parede 2

Dimensões [1.36x1.28x0.30m]

Cota do rasgo [0.39m]

#### Cálculo das tensões na parede ao nível da secção do rasgo

##### 1º ciclo de carga (15.2kN)

- Carga aplicada pelo actuador  $\frac{15.20}{1.36 \times 0.30} = 37.26 \text{ kPa}$
- Carga exercida pelo peso próprio da parede  $\frac{16.67 \times (0.89 \times 0.30)}{1.36} = 3.27 \text{ kPa}$
- Carga exercida pelo peso próprio do actuador  $\frac{2.30}{1.36 \times 0.30} = 5.64 \text{ kPa}$

Na tabela 11 são indicados os valores das  $\sigma_i$  quando aplicadas as cargas nos diversos ciclos de carga na parede 2.

Descrição das cargas aplicadas	Ciclos de carga				
	1º (15.2kN)	2º (30.5kN)	3º (45.4kN)	4º (61.0kN)	5º (75.2kN)
Carga vertical aplicada pelo actuador (kPa)	37.26	74.76	111.27	149.51	184.31
Carga exercida pelo peso próprio parede (kPa)	3.27				
Carga exercida pelo peso próprio do actuador (kPa)	5.64				
<b><math>\sigma_i</math> (kPa)</b>	<b>46.17</b>	<b>83.67</b>	<b>120.18</b>	<b>158.42</b>	<b>193.22</b>

**Tabela 11:** Valores das  $\sigma_i$  quando aplicadas as cargas nos diversos ciclos de carga (parede 2).

#### 5.2.2.2 Procedimento 2: tensão instalada estimada pelo ensaio simples (parede 2)

O procedimento adoptado para os ensaios simples realizados nas paredes construídas no laboratório, difere do utilizado na campanha de ensaios levados a efeito nos quatro edifícios, pelo facto de serem realizados tantos restabelecimentos das distâncias iniciais, entre miras dos três alinhamentos (um dos quatro alinhamentos aplicados coincidia com uma das saídas do macaco plano pelo

que neste não foram obtidas leituras), como carregamentos na parede pelos vários ciclos de carga. Por exemplo no caso do 2º ciclo de carga pelo actuador (30.5kN) o procedimento foi o seguinte:

- i) Após a conclusão do procedimento relativo ao ciclo de carga anterior (15.2kN), e depois retirada a pressão imposta pelo macaco plano à parede que permite a esta relaxar e voltar ao seu estado depois do corte, avaliam-se as novas distâncias iniciais entre miras;
- ii) É aplicada no actuador uma carga vertical de 30.2kN sobre a parede (a decisão sobre os vários patamares dos ciclos de carga foi discutida e decidida previamente) e são realizadas novas leituras nos três alinhamentos verticais, ainda sem qualquer incremento de pressão no macaco plano, de forma a verificar se houve, como esperado, aproximação das distâncias entre as miras;
- iii) São aplicados diversos incrementos de pressão no macaco plano (104kPa / 203kPa / 250kPa / 302kPa / 326kPa) e após cada um deles são avaliadas novas leituras das distâncias entre miras até que se verifique o restabelecimento das distâncias verificadas no ponto i);
- iv) No caso concreto deste ciclo de carga verificou-se o restabelecimento, com todas as distâncias a serem igualadas e/ou ligeiramente ultrapassadas quando no macaco plano estava imposta uma pressão de 326kPa.

**Nota:** Relativamente a este último ponto, nomeadamente o restabelecimento das distâncias iniciais entre miras, e à semelhança do que acontece no procedimento do ensaio simples normal, referir que é muito difícil prever qual o patamar de pressão aplicada no macaco plano que garantirá exactamente o afastamento inicial entre miras. Não obstante o facto de na esmagadora maioria dos casos o exacto restabelecimento de um dos alinhamentos não implique que os restantes ultrapassem o valor referencial de restabelecimento.

No restante, todo o procedimento do ensaio simples foi o mesmo, desde a aquisição dos dados até ao tratamento dos mesmos.

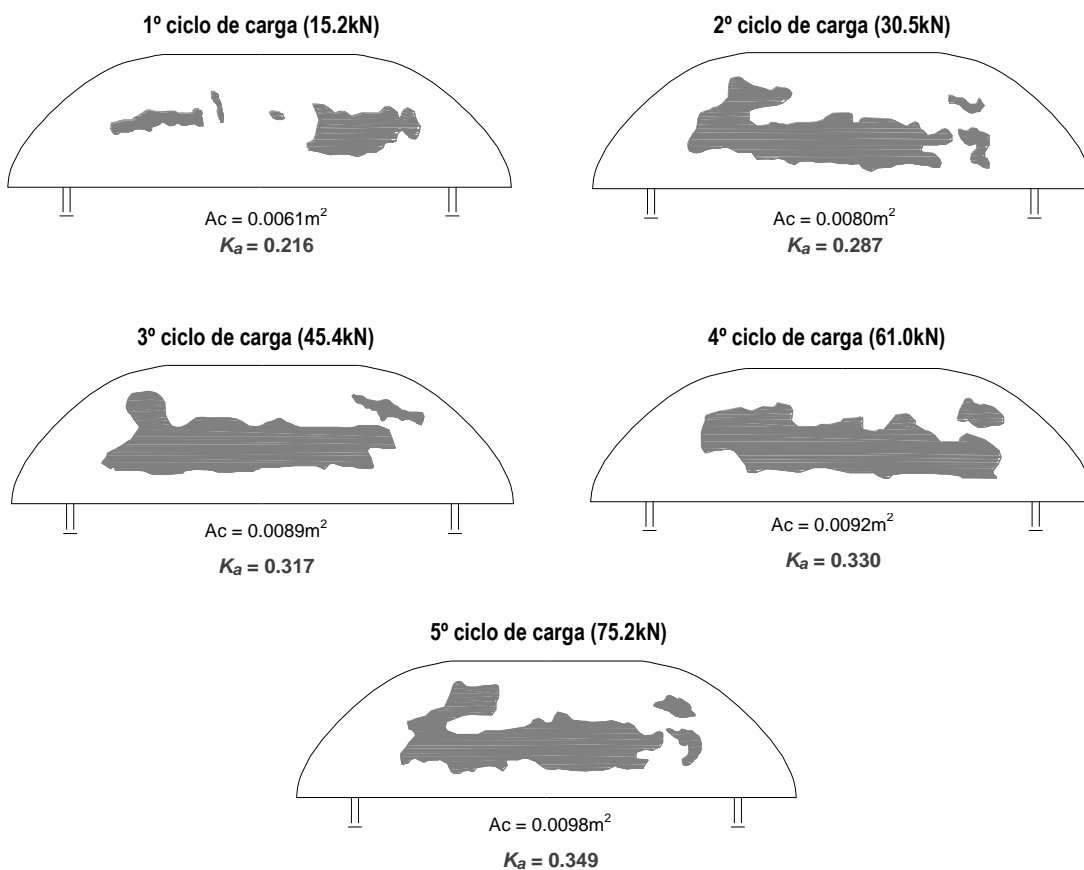
- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| ► coeficiente $K_m$ (macaco plano semi-oval MS0_3) | $K_m = 0.836$                   |
| ► coeficiente $K_a$                                | varia em função do carregamento |
| ► pressão registada na célula de carga ( $p$ )     | varia em função do carregamento |

Apresentam-se de seguida duas imagens na figura 43 dos ensaios simples realizados na parede 2.



**Figura 43:** Ensaio simples realizados na parede 2: a) vista geral; b) pormenor da disposição das miras.

Na figura 44 são apresentados os registos relativos às áreas máximas carregadas na parede 2 em cada um dos ciclos do ensaio.



**Figura 44:** Registos obtidos relativos à área máxima carregada ( $K_a$ ) nos vários ciclos de carga da parede 2.

A tabela seguinte apresenta: os valores obtidos para os coeficientes de correcção  $K_a$  através da equação (1); os  $K_a$ 's que resultaram da medição dos registos em cada um dos ciclos de carga; a relação em termos percentuais dos desvios entre ambos, para os vários ciclos de carga.

	Ciclos de carga				
	1º (15.2kN)	2º (30.5kN)	3º (45.4kN)	4º (61.0kN)	5º (75.2kN)
$\sigma_i$ de cálculo (kPa)	46.17	83.67	120.18	158.42	193.22
Coeficiente de correcção $K_m$	0.836				
$p$ (kPa)	255.10	326.40	460.90	564.00	676.40
$K_a$ (obtido pelo procedimento 1)	0.217	0.307	0.330	0.336	0.342
$K_a$ (obtido pelo procedimento 2) <sup>[13]</sup>	0.216	0.287	0.317	0.330	0.349
Desvio (%)	0.5	6.5	3.9	1.8	-2.0

**Tabela 12:** Relação dos coeficientes de correcção  $K_a$  obtidos nos ensaios simples da parede 2.

### 5.2.2.3 Comparação e discussão dos resultados

Como observação prévia e importante no auxílio do desenvolvimento das conclusões seguintes, referir que por maior rigor que se empreenda na obtenção da medição das áreas efectivas de carregamento durante os ensaios simples (exemplo: figura 44) e duplos, que dão origem ao cálculo do coeficiente de correcção  $K_a$ , há sempre uma componente, por mais pequena que seja, de subjectividade no tratamento deste valor, porquanto, o próprio método de medição e a percepção de quem executa a medição são determinantes na sua avaliação.

O coeficiente correctivo  $K_a$  é uma parcela importante no cálculo da tensão instalada (equação 1) numa determinada secção de uma parede através da realização do ensaio simples e da tensão de resistência à compressão representativa dessa parede através do ensaio duplo. Contudo, o estudo sobre a influência deste coeficiente incidiu exclusivamente sobre o procedimento utilizado no ensaio simples.

[13] – Coeficiente de correcção  $K_a$  determinado pela medição dos registos obtidos em cada um dos ciclos de carga.

A principal e mais importante conclusão a extrair dos resultados obtidos, consubstanciada na evidência da grande aproximação verificada (desvio aproximado em média de 2.5%) entre os  $K_a$ 's expectáveis pela equação e os  $K_a$ 's obtidos pelos ensaios simples (gráfico da figura 45), nos cinco ciclos de carga, é a validação, de forma inequívoca, da equação (1).

Também importa salientar, consubstanciando o conteúdo do primeiro parágrafo, que uma diferente avaliação das medições dos registos obtidos em termos de carregamento ( $K_a$  pelo ensaios simples), influenciaria na mesma proporção o desvio nos resultados. A título de exemplo, uma medição inferior em 10% ( $K_a=0.194$ ) faria com que o desvio fosse 10.4% relativamente ao  $K_a$  expectável. De igual modo, e ainda na perspectiva do rigor a empreender neste tipo de avaliação, referir que a leitura da pressão no macaco plano quando é conseguido o restabelecimento das distâncias iniciais entre miras pode não ser a mais exacta, sendo perfeitamente possível erros de leitura na ordem dos 10-15kPa (esta possibilidade de erro deve-se essencialmente à precisão na leitura da pressão na célula de carga, porquanto, entre o momento do último incremento de tensão e o momento da leitura da distância no último alinhamento vertical, há uma variação da pressão na célula de carga registada nesta ordem de grandeza) o que, neste estudo, aumentaria ou diminuiria os desvios em cerca de 5-10% também.

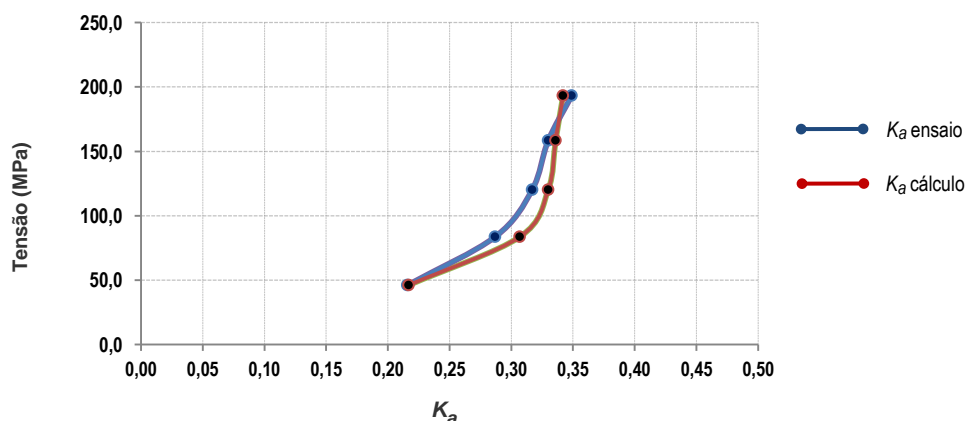


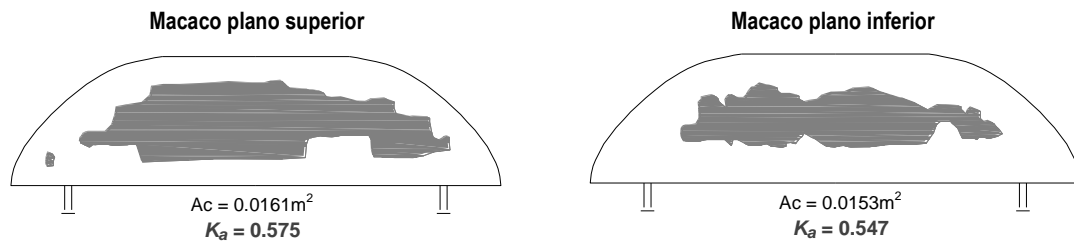
Figura 45: Relação entre os  $K_a$ 's determinados pelo ensaio simples e por cálculo (parede 2).

### 5.2.3 Ensaios duplos

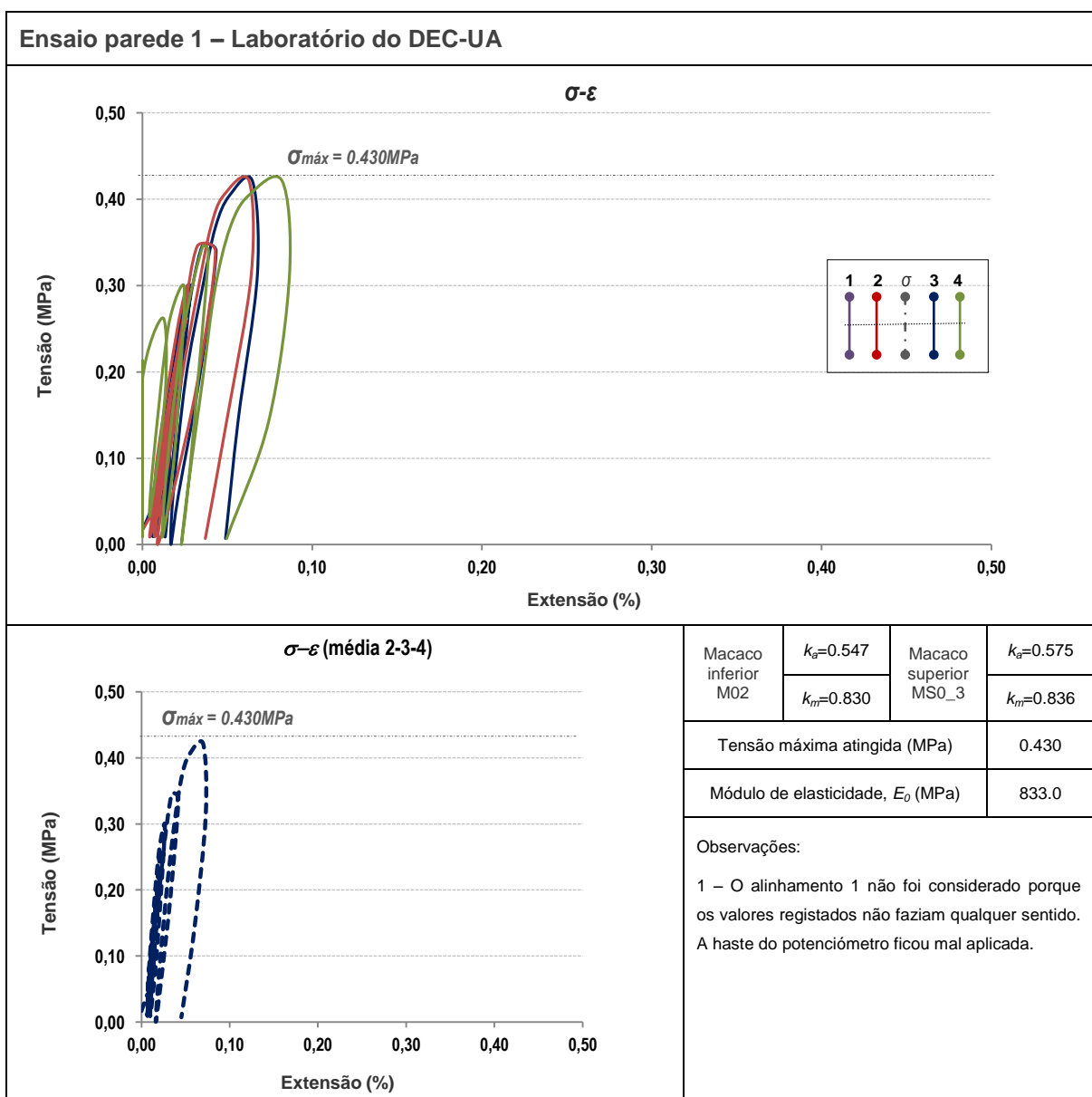
A realização dos ensaios duplos nestas paredes seguiu a mesma actuação utilizada nos restantes ensaios duplos executados, pelo que, tendo sido no respectivo capítulo explanado todo o procedimento, de seguida serão apresentados resumidamente os dados mais relevantes.



Nas figuras 46 e 47 são apresentados os principais dados e resultados relativos ao ensaio duplo da parede 1.

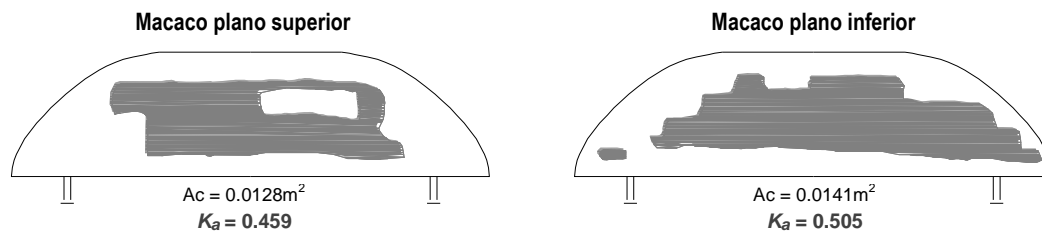


**Figura 46:** Registos obtidos relativos à área máxima carregada ( $K_a$ ) no ensaio duplo da parede 1.

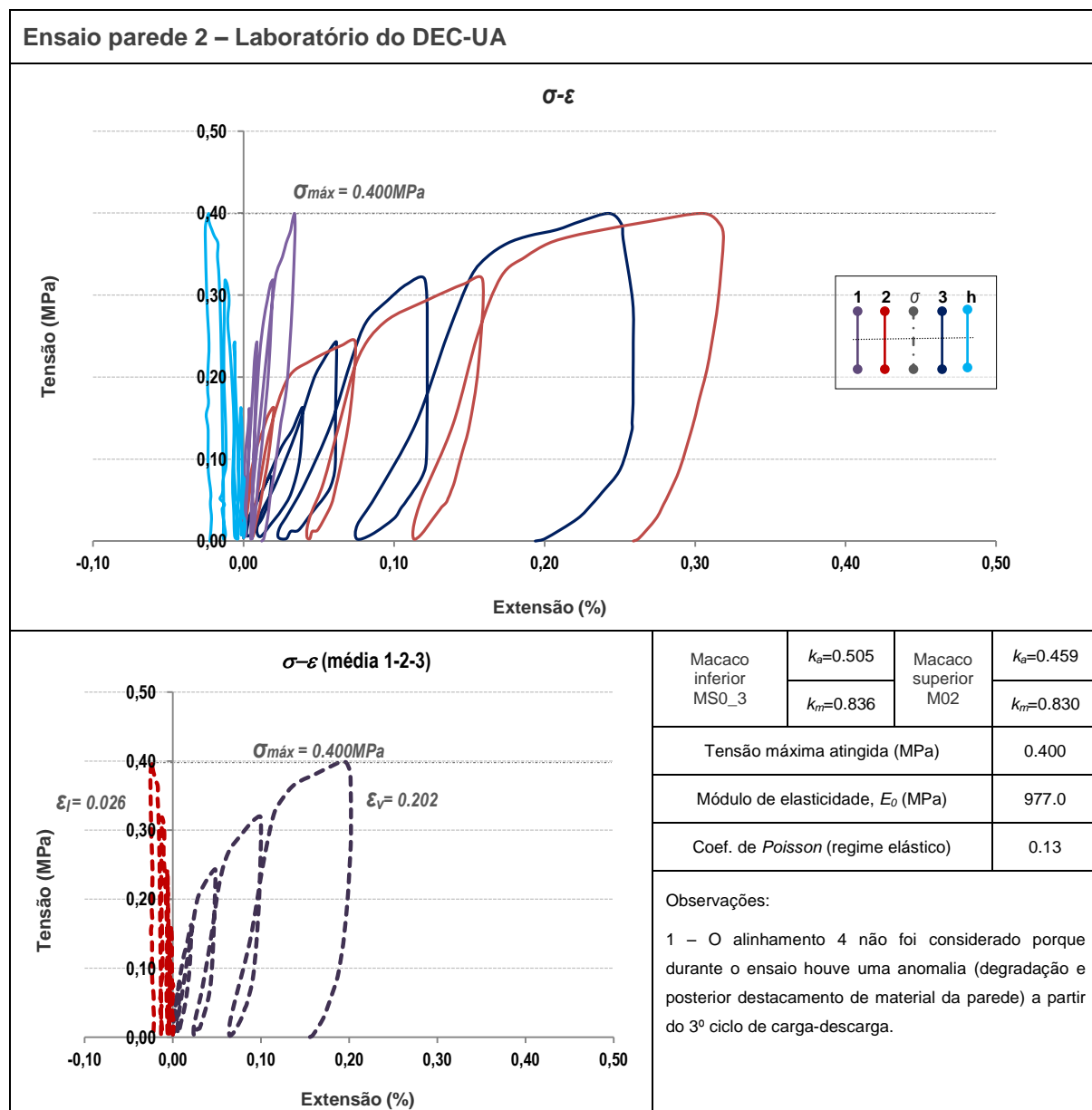


**Figura 47:** Resumo dos dados e resultados do ensaio duplo da parede 1.

Nas figuras 48 e 49 são apresentados os principais dados e resultados relativos ao ensaio duplo da parede 2.



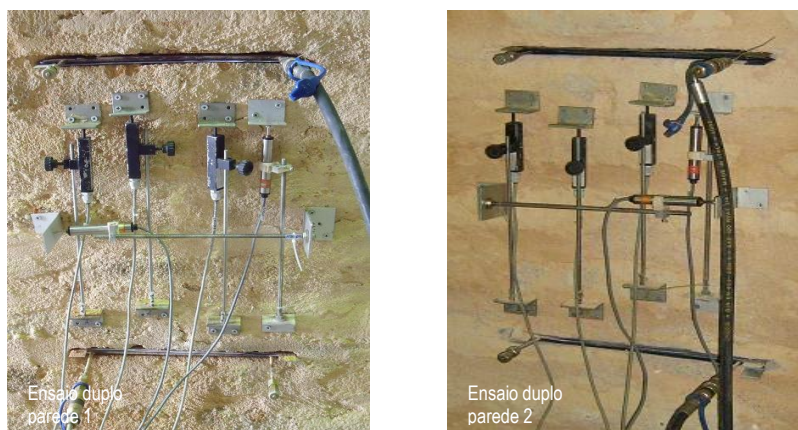
**Figura 48:** Registos obtidos relativos à área máxima carregada ( $K_a$ ) no ensaio duplo da parede 2.



**Figura 49:** Resumo dos dados e resultados do ensaio duplo da parede 2.

Como se observa através dos dados apresentados, os valores obtidos para a tensão máxima atingida à compressão nas paredes foram relativamente próximos (diferença de 0.03MPa), sendo na parede 1 de **0.43MPa** e na parede 2 de **0.40MPa**. O resultado obtido para a resistência à compressão da parede 1 foi superior ao da parede 2 e, atendendo ao facto de que a argamassa de ligação (juntas) dos elementos e o método construtivo utilizados na construção das paredes foram iguais e que a resistência à compressão dos blocos de adobe da parede 1 era superior aos blocos de adobe da parede 2 (ensaios à compressão simples apresentados no sub-capítulo 5.3), era previsível a obtenção destes resultados. Referir ainda sobre a resistência à compressão que estes valores são superiores, ligeiramente, à média obtida para este parâmetro nos resultados dos nove ensaios realizados (0.39MPa).

Relativamente ao módulo de elasticidade inicial ( $E_0$ ), para a parede 1 foi obtido um valor de **833MPa** e para a parede 2 um valor de **977MPa**, sendo que em ambos os casos apresentam valores idênticos à média dos resultados dos nove ensaios realizados (721MPa). Quanto ao valor do coeficiente de *Poisson* determinado pelo ensaio da parede 2, este foi de  $\nu=0.13$ .



**Figura 50:** Imagens dos ensaios duplos realizados nas paredes 1 e 2.

### 5.3 Ensaios de caracterização mecânica do adobe

Durante a construção das duas paredes, foram extraídos provetes paralelepípedicos de cada um dos dois tipos de blocos de adobe usados na sua construção (foram utilizados blocos novos e não usados na execução das paredes), com as dimensões de 15×4×4cm<sup>3</sup>. Os ensaios foram realizados à

flexão e compressão simples e foi usada uma prensa digital (marca ELE e modelo Multiplex 50-E), conforme ilustram as imagens da figura 51. Os resultados obtidos para a resistência à flexão e compressão são apresentados de seguida nas tabelas 13 e 14, para os provetes das paredes 1 e 2 respectivamente.

● **Provetes extraídos de blocos de adobe da parede 1**

Provetes	Tensão de rotura em (MPa):			
	Flexão	Compressão		
Pi		Pi.1	Pi.2	Média
P1	1.507	2.524	2.400	2.462
P2	1.458	2.475	2.101	2.288
P3	1.406	2.600	2.300	2.450
P4	1.385	1.822	2.400	2.111
<b>Média</b>	<b>1.439</b>	<b>2.328</b>		

**Tabela 13:** Resistência à flexão e compressão de provetes extraídos de blocos de adobe da parede 1.

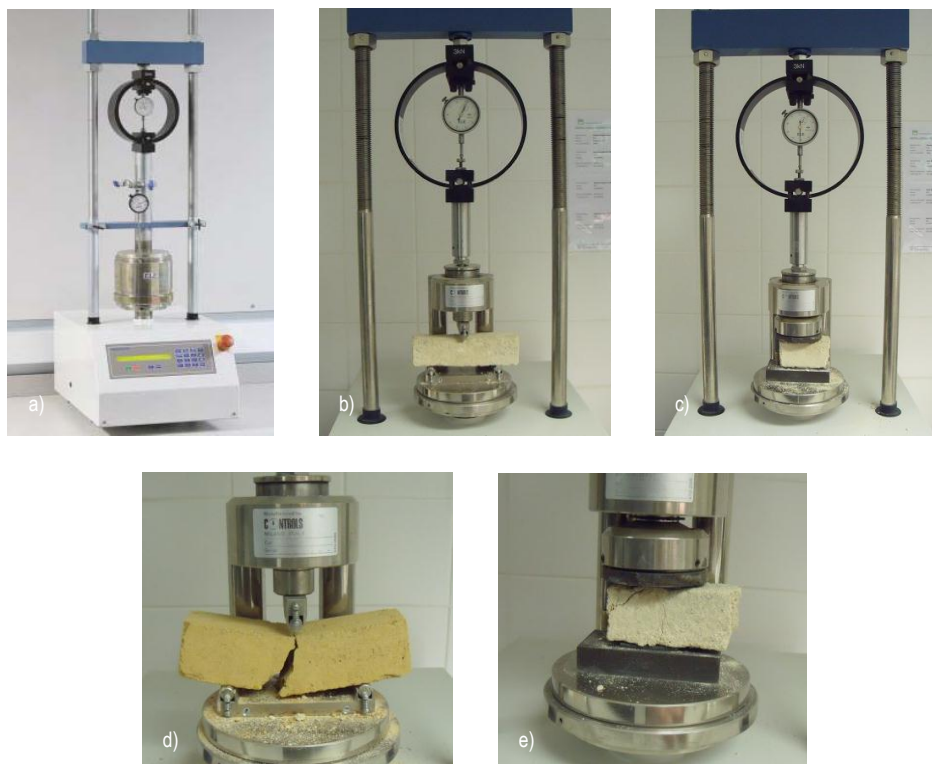
● **Provetes extraídos de blocos de adobe da parede 2**

Provetes	Tensão de rotura em (MPa):			
	Flexão	Compressão		
Pi		Pi.1	Pi.2	Média
P5	0.490	0.655	0.721	0.688
P6	0.508	0.640	0.787	0.713
P7	0.291	0.658	0.659	0.659
P8	0.459	0.680	0.760	0.720
<b>Média</b>	<b>0.437</b>	<b>0.695</b>		

**Tabela 14:** Resistência à flexão e compressão de provetes extraídos de blocos de adobe da parede 2.

Na campanha de ensaios realizados aos oito provetes e dos resultados obtidos, pode-se inferir desde logo a diferença relativamente significativa que existe entre a capacidade resistente, tanto à flexão como à compressão simples, dos blocos de adobe que constituem as duas paredes

construídas. Enquanto nos provetes dos blocos de adobe da parede 2 a tensão de rotura à compressão é em média 0.695MPa nos provetes dos blocos de adobe da parede 1 a média é 2.328MPa, ou seja, superior em quase três vezes e meia. Já no que concerne à tensão de rotura por flexão a média para os provetes dos blocos de adobe da parede 1 é 1.439MPa e nos provetes dos blocos da parede 2 é 0.437MPa. Verifica-se ainda que a tensão de rotura em flexão corresponde, em média, a 60% da tensão de rotura por compressão.



**Figura 51:** Imagens dos ensaios realizados à flexão e compressão simples: a) prensa digital; b) ensaio à flexão; c) ensaio à compressão; d) rotura do provete à flexão; e) rotura do provete à compressão.

#### 5.4 Resistência à compressão das paredes de alvenaria de adobe pelo EC6

As paredes de alvenaria resistente são um elemento construtivo composto, constituído no mínimo pelos elementos (ou unidades de alvenaria) e pela argamassa em que a sua resistência depende fundamentalmente da interacção entre ambos. As propriedades mecânicas destas paredes dependem das propriedades dos materiais que as constituem, da geometria do elemento utilizado e da interacção e ligação com outros elementos.

São diversas as propriedades mecânicas e relações importantes para a caracterização do comportamento mecânico das alvenarias, contudo destacam-se a resistência à compressão ( $f_k$ ), ao corte, à flexão e à tracção (resistência intrínseca da alvenaria). Também importante é a relação da resistência da alvenaria com as resistências das unidades (blocos de adobe) e a argamassa usada na sua constituição.

No caso concreto da resistência à compressão da alvenaria (propriedade mecânica que vai ser objecto deste estudo), esta é influenciada por diversos factores: a resistência das unidades e da argamassa; as características de deformação das unidades e da argamassa; a geometria das unidades; o tipo de parede e o seu aparelho; e, não menos importante, as condições da sua execução.

O mecanismo de rotura da alvenaria está intimamente ligado às características mecânicas (resistência e deformabilidade) das unidades e da argamassa. Assim a alvenaria à compressão cede geralmente pelo desenvolvimento de fendas de tracção paralelas à direcção da carga, isto é, como resultado de tensões de tracção perpendiculares à força de compressão ou poderá romper por zonas mais fracas nomeadamente se a argamassa de assentamento é fraca ou forte em relação às unidades de alvenaria. Referir também que a resistência à compressão da alvenaria é muito menor que a resistência à compressão das unidades que a constitui e por outro lado pode ser superior à resistência à compressão da argamassa empregue.

A determinação da resistência à compressão pelo EC6 <sup>[14]</sup> pode ser calculada de duas formas distintas: por ensaios experimentais e por relações semi-empíricas. É sobre esta última que vai incidir a atenção deste estudo. A equação que estima a resistência à compressão da alvenaria é dada por:

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta \quad (\text{Eq. 3})$$

em que,

$f_k$  - Resistência à compressão da alvenaria;

$K$  - Coeficiente que depende do tipo de unidades, da argamassa e da parede varia [0.4;0.8];

---

[14] – CEN (2005). Eurocode 6: Part 1-1 – General Rules for buildings – Rules for reinforced and unreinforced masonry, European Committee for Standardisation, Brussels

$f_b$  e  $f_m$  - Resistência das unidades de alvenaria e da argamassa;

$\alpha$  - Expoente varia [0.55;0.75]: para argamassa convencional = 0.65;

$\beta$  - Expoente varia [0.25;0.30]: para argamassa convencional = 0.25.

Tendo em consideração que a argamassa utilizada na construção das paredes foi uma argamassa convencional (traço 1:2:1 - uma medida de cal aérea, duas medidas de areia e uma medida de terra ligeiramente argilosa) a equação (3) é particularizada:

$$f_k = K f_b^{0.65} f_m^{0.25} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

desde que,

$$f_m \quad \text{seja} \leq \begin{cases} 20.0 \text{ MPa} \\ 2 f_b \end{cases}$$

$$K = 0.60 \text{ (N/mm}^2\text{)}^{0.1}$$

Pela consulta do (Valores de  $K$  - Argamassa convencional) do EC6 <sup>[14]</sup> temos que as paredes de blocos de adobe (parede 1 e 2):

- 1) - os blocos de adobe pertencem ao grupo 1;
- 2) - quanto ao tipo de aparelho das paredes não têm junta longitudinal.

$$f_b = 2.328 \text{ N/mm}^2: \quad \text{parede 1}$$

$$f_b = 0.695 \text{ N/mm}^2: \quad \text{parede 2}$$

Pela consulta dos resultados dos ensaios realizados à compressão simples em provetes extraídos de blocos de adobe iguais aos que constituem as paredes (sub-capítulo 5.3).

$$f_m = 0.670 \text{ N/mm}^2$$

Pela consulta dos resultados da campanha de ensaios realizados à compressão simples em provetes executados com a argamassa de construção com composição análoga à usada na construção das paredes [Figueiredo, 2009] <sup>[15]</sup>.

[15] – Sub-capítulo 3.4) da tese de Mestrado de António José Pereira de Figueiredo: “Caracterização de uma solução de reforço sísmico de paredes de adobe.”, 2009.

Verifique-se:

$$f_m \leq 20.0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{e} \quad \leq 2 f_b$$

$$f_m = 0.670 \text{ N/mm}^2 \leq 20 \text{ N/mm}^2 \quad \text{verificado!}$$

$$f_m = 0.670 \text{ N/mm}^2 \leq 2.0 \times 2.328 \text{ (parede 1)} = 4.656 \text{ N/mm}^2 \quad \text{verificado!}$$

$$\leq 2.0 \times 0.695 \text{ (parede 2)} = 1.390 \text{ N/mm}^2 \quad \text{verificado!}$$

Calcule-se então:

$$f_{k(\text{parede 1})} = 0.60 \times 2.328^{0.65} \times 0.670^{0.25} = 0.918 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{0.936 \text{ MPa}}$$

$$f_{k(\text{parede 2})} = 0.60 \times 0.695^{0.65} \times 0.670^{0.25} = 0.419 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{0.427 \text{ MPa}}$$

Estes resultados podem ser considerados, com a chancela do EC6 <sup>[14]</sup>, como sendo os valores característicos da resistência à compressão da alvenaria que constitui as paredes 1 e 2.

## 5.5 Comparação e discussão dos resultados em termos de resistência à compressão

A tensão de resistência à compressão foi o parâmetro que suscitou, desde logo, maior discussão e curiosidade relativamente ao potencial analítico dos resultados obtidos com os ensaios de macacos planos, não sendo portanto estranho que a maior parte deste capítulo seja dedicado ao estudo das várias perspectivas de análise desta característica do comportamento mecânico, no caso concreto de paredes de alvenaria resistente em adobe.

Além dos resultados obtidos pelos ensaios de macacos planos realizados nas paredes dos quatro edifícios estudados (média  $\sigma_{\text{médio}} = \mathbf{0.390 \text{ MPa}}$ ) e das paredes construídas em laboratório (parede 1  $\sigma_{\text{máx}} = \mathbf{0.430 \text{ MPa}}$  e parede 2  $\sigma_{\text{máx}} = \mathbf{0.400 \text{ MPa}}$ ), foi também determinada a resistência à compressão expectável pela relação semi-empírica do EC6 <sup>[14]</sup> (parede 1  $\sigma_{\text{máx}} = \mathbf{0.936 \text{ MPa}}$  e parede 2  $\sigma_{\text{máx}} = \mathbf{0.427 \text{ MPa}}$ ) e ainda determinados os valores de resistência à compressão por intermédio de uma campanha de ensaios realizados em provetes extraídos de blocos de adobe iguais aos que foram usados na construção das duas paredes em laboratório (parede 1  $\sigma_{\text{máx}} = \mathbf{2.328 \text{ MPa}}$  e parede 2  $\sigma_{\text{máx}} = \mathbf{0.695 \text{ MPa}}$ ).



Para facilitar a leitura dos vários resultados obtidos, é apresentado de seguida a tabela 15 com o resumo desses mesmos resultados.

Tensão de resistência à compressão (MPa)			
Avaliação dos resultados	Parede1	Parede 2	Média dos nove ensaios
Ensaio duplo de macacos planos	0.430	0.400	0.390
EC6 (relação semi-empírica)	0.936	0.427	n.a.
Provetes (4x4x16cm)	2.328	0.695	n.a.

**Tabela 15:** Resumo dos resultados em termos de resistência à compressão.

Relativamente aos resultados obtidos pelos diversos ensaios de macacos planos, referir que são, no mínimo, assertivos e condizentes com as expectativas que haviam sido criadas antes do seu início. Destacar o facto de os valores obtidos, tanto para a média dos nove ensaios realizados como para o ensaio realizado na parede 2, serem muito aproximados (diferença de 0.01MPa) o que faz todo o sentido em virtude das características que apresentavam desde logo, por inspecção visual, serem bastante idênticas (dimensão, tonalidade, granulometria, disposição das juntas de construção). Quanto à parede 2 construída em laboratório, o facto de apresentar um valor de resistência à compressão ligeiramente superior (0.03MPa) aos supra referidos também era expectável, porquanto a capacidade de resistência dos elementos que constituem esta parede também é muito superior, como se pode verificar pela campanha de ensaios de resistência à compressão realizada com os provetes.

No que concerne às diferenças nos resultados obtidos entre os ensaios de macacos planos e a formulação do EC6 <sup>[14]</sup>, para as paredes construídas em laboratório, constata-se que na parede 2 os valores são muito mais aproximados (desvio de 6.5%) do que os valores para a parede 1 (desvio de 54.3%). Se no caso da parede 2 a diferença pode ser considerada desprezável, no caso da parede 1 é significativa a diferença observada e tal facto deve-se sobretudo ao elevado valor do coeficiente  $f_b$  (resistência das unidades de alvenaria) considerado (por comparação com o valor de  $f_b$  das unidades de alvenaria da parede 2).

Sendo a relação entre as resistências à compressão, determinadas pelos ensaios de macacos planos em paredes de alvenaria e pelos ensaios em provetes extraídos de elementos que constituem essas mesmas paredes, de difícil escrutínio em virtude da significativa diferença entre as características (dimensões, estrutura) dos objectos ensaiados, é contudo possível, numa prévia observação, constatar, logicamente, a significativa superioridade dos valores obtidos nos provetes. De facto, uma secção de uma unidade (bloco de adobe), mesmo que de pequenas dimensões, comporta-se bastante melhor que uma secção de uma parede de alvenaria composta por uma mistura de unidades e argamassa de ligação (além de, normalmente, menos resistente a argamassa, também a construção de uma parede de alvenaria comporta desde logo algumas imperfeições) no que a este parâmetro mecânico concerne.

Observa-se que a maior resistência obtida nos provetes da parede 1 tem a mesma correspondência no que diz respeito à maior resistência observada no ensaio duplo de macacos planos e no cálculo pelo EC6 <sup>[14]</sup>. Contudo, a diferença entre os resultados obtidos, ao nível da parede 1, é bastante significativa e pode ser justificada pelas seguintes razões: imperfeições geométricas dos blocos que constituíam a parede de alvenaria; os provetes extraídos podem ter sido colhidos de um ou dois blocos de adobe que apresentassem melhores características face aos restantes (nomeadamente ao nível da sua constituição/resistência); seria necessário ensaiar mais provetes retirados de outros blocos de adobe com as mesmas características para tornar a média dos resultados mais fiável; eventual excentricidade na aplicação das cargas.

Os resultados e observações obtidos com o trabalho desenvolvido neste capítulo permitiram, de alguma forma, solidificar os conhecimentos que haviam sido explanados no capítulo anterior e complementá-los com informações e conclusões relacionadas com alguns aspectos importantes do ensaio de macacos planos e a resistência à compressão do adobe, tanto dos blocos como das paredes por eles constituídas. Não obstante os comentários que foram sendo referidos, no capítulo seguinte serão indicadas as principais conclusões que foram observadas.

## Capítulo 6

### Conclusões, comentários finais e perspectivas de trabalho futuro

---

---

## **Capítulo 6 Conclusões, comentários finais e perspectivas de trabalho futuro**

### **6.1 Síntese do trabalho realizado**

#### **6.1.1 Breve descrição do trabalho realizado**

#### **6.1.2 Avaliação dos resultados**

#### **6.1.3 Principais conclusões**

### **6.2 Perspectivas de trabalho futuro**

---

(...)

*No fim do silêncio está a resposta,*

*No fim dos nossos dias está a morte.*

*No fim da nossa vida, um novo início. (...)*

(Poema taoista de Lao Tzu, citado in "A Fórmula de Deus", de  
José Rodrigues dos Santos)

## **6 Conclusões, comentários finais e perspectivas de trabalho futuro**

### **6.1 Síntese do trabalho realizado**

#### **6.1.1 Breve descrição do trabalho realizado**

O crescente interesse no conhecimento das potencialidades da construção tradicional em adobe, quer numa perspectiva de intervenção na reabilitação e recuperação do edificado existente quer no domínio do conhecimento de novas tecnologias aplicadas a esta técnica de construção, tem aberto novas frentes de investigação no sentido de se melhorarem as características mecânicas e a sua durabilidade.

Incluído num alargado e abrangente projecto que vem sido desenvolvido pelo DEC-UA no âmbito do estudo multidisciplinar sobre a temática das alvenarias de adobe da região, no conjunto do seu edificado, que, de alguma forma, caracterizam e representam uma elevada fracção do património da cidade e região de Aveiro, o presente trabalho teve por objectivo primordial desenvolver o tema dedicado à "caracterização mecânica de paredes de alvenaria de adobe com recurso à utilização do ensaio de macacos planos (*flat-jack testing*)".

Este trabalho é sobretudo concretizado em duas fases principais. Numa primeira são desenvolvidos os principais temas e características relacionadas com os dois assuntos que estão na sua génese, a arquitectura de terra, nomeadamente a técnica de construção em adobe (capítulo 2), e o ensaio de

macacos planos (capítulo 3). Na segunda fase, a mais importante, a descrição e apresentação de todo o trabalho realizado, quer no exterior através dos ensaios realizados nos quatro edifícios da região (capítulo 4) quer no laboratório da DEC-UA pelos ensaios experimentais realizados em paredes construídas para o efeito (capítulo 5), assim como os resultados obtidos e os comentários e conclusões finais.

### 6.1.2 Avaliação dos resultados

Sendo certo que os inúmeros estudos já desenvolvidos pelo DEC-UA neste domínio permitiram obter um conhecimento bastante profícuo sobre o tema, é certo também que a concepção de soluções adequadas de intervenção na recuperação e reabilitação deste tipo de edificado requer o mais e melhor tratamento possível de algumas informações fundamentais, designadamente ao nível das características mecânicas deste tipo de construção: tensão instalada *in-situ*, resistência à compressão, módulo de elasticidade, entre outros.

Foram definidos como objectivos primordiais deste trabalho: i) a realização de um conjunto alargado de ensaios de macacos planos que permitisse determinar um possível padrão para as características de comportamento mecânico deste tipo de construção; ii) a avaliação do estado de tensão instalada nas paredes ensaiadas; iii) a identificação e análise de alguns pressupostos relacionados com o ensaio de macacos planos (quando aplicado a construções em alvenaria de adobe); iv) a incerteza provocada na estimativa do coeficiente de correcção  $K_a$  nos resultados obtidos; v) e último, comparar as principais diferenças nos resultados obtidos pelas diversas formas (ensaio duplos de macacos planos realizados no exterior e no DEC-UA, pelo EC6 <sup>[14]</sup> e pelos ensaios em carotes extraídos de blocos de adobe) de determinar a tensão de resistência à compressão.

Por outro lado, os resultados obtidos permitem também retirar algumas ilações e conclusões importantes, na perspectiva do tema, e dessa forma contribuir para acrescentar algo ao panorama da investigação nesta área. Esta convicção é fundamentada, essencialmente, nas conclusões que a seguir se indicam no sub-capítulo 6.1.3, divididas por cada um dos principais objectivos propostos a desenvolver nesta dissertação:

- Realização de uma campanha de ensaios de macacos planos e caracterização do comportamento mecânico das construções em adobe onde foram realizados esses ensaios;

- Avaliação do estado de tensão e segurança das paredes onde foram realizados os ensaios;
- Algumas particularidades do ensaio de macacos planos quando aplicado a paredes de alvenaria de adobe;
- A incerteza associada ao coeficiente de correcção  $K_a$  nos resultados dos ensaios;
- Estimativa da resistência à compressão de paredes de alvenaria em adobe.

### 6.1.3 Principais conclusões

Os principais resultados e comentários das questões acima indicadas, foram apresentados em cada um dos respectivos capítulos e são agora, de alguma forma, resumidos nos parágrafos seguintes.

#### Realização de uma campanha de ensaios de macacos planos e caracterização do comportamento mecânico das construções em adobe onde foram realizados esses ensaios

- O adobe, como material heterogéneo, permite assumir algumas diferenças na sua constituição e, como tal, é possível encontrar na mesma região (Aveiro para o caso) construções com diferentes características, mesmo que muito ligeiras, sobretudo ao nível do comportamento mecânico. A campanha de ensaios realizados (nove ensaios simples e duplos realizados em quatro edifícios diferentes) incidiu sobre construções em adobe que tivessem na sua génese diferentes constituições ao nível do adobe, sendo consideradas, genericamente, **três principais formas de expressão deste edificado**: edificado dos centros urbanos, o edificado dos meios rurais e o edificado no limite de ambos;
- As diferenças encontradas não foram muito significativas, senão vejamos:
  - i) – Quanto à **volumetria e implantação dos edifícios** nota-se que nos centros urbanos é mais prolífera a construção em altura (dois pisos) enquanto que nas duas outras zonas identificadas a esmagadora maioria são construções de um único piso. As áreas de implantação são relativamente inferiores nos edifícios dos centros urbanos e as áreas das divisões interiores são idênticas nos três tipos de edificado e quase sempre muito pequenas, principalmente quando comparadas com as áreas que se praticam actualmente;

- ii) – Quanto às **características relativas ao comportamento mecânico** não são evidentes diferenças motivadoras de destaque, nomeadamente aquelas em que foi possível determinar uma amostragem tal que permitisse definir uma tendência, um padrão:
- Na avaliação da **tensão instalada *in-situ*** nas paredes, que depende obviamente do tipo de carregamento a que estas estão sujeitas, verificou-se alguma uniformidade nos resultados (excluindo os ensaios 2-3-6 por apresentarem valores anormalmente baixos) podendo atribuir-se ao intervalo de valores **0.05-0.06MPa** a representatividade deste parâmetro;
  - Relativamente à avaliação da **tensão de resistência à compressão** da alvenaria, os valores que se obtiveram demonstram alguma uniformidade podendo dizer-se, com alguma segurança, que o intervalo **0.35-0.42MPa** representa bem este parâmetro assim como se tivéssemos de atribuir um valor de referência que seria os 0.40MPa;
  - Na avaliação do **módulo de elasticidade inicial ( $E_0$ )** das alvenarias verifica-se uma dispersão considerável de valores, num intervalo compreendido entre os 235-1734MPa. Não é assim fácil determinar um valor de referência para este parâmetro, contudo, excluindo os ensaios 1-3-9 face aos valores obtidos e que são claramente desviantes, podemos considerar um valor médio de **721MPa**.

#### Avaliação do estado de tensão e segurança das paredes onde foram realizados os ensaios

- Pese embora o rigor na obtenção dos valores das tensões instaladas *in-situ*, quer por cálculo (desconhecimento de todos os dados necessários) quer pelo ensaio simples (características próprias do procedimento do ensaio) não seja o desejável, é contudo suficientemente aproximado para se poderem extrair algumas ilações. No caso concreto do presente estudo (conforme demonstra a comparação de resultados da tabela 8 – sub-cap. 4.3.3.4) e se nos cingirmos unicamente às tensões instaladas obtidas pelo ensaio simples, verificamos que face às tensões de resistência à compressão, determinadas pelo ensaio duplo, as paredes onde foram realizadas os ensaios são as adequadas face às cargas que lhes são sujeitas, tendo um coeficiente de segurança em média (se excluirmos os ensaios 2-3-6) na ordem de 6.90. Face a este dado pode dizer-se com propriedade que estes edifícios estão do lado da segurança pelo menos no que concerne a acções verticais.



### Algumas particularidades do ensaio de macacos planos quando aplicado a paredes de alvenaria de adobe

- Os ensaios realizados com macacos planos (ensaios simples e duplos) **permitem obter informação relativa às propriedades mecânicas** das paredes de alvenaria, no caso construídas em adobe, necessárias à análise estrutural e, mesmo reconhecendo algumas limitações e cuidados a ter na interpretação dos resultados, podem ser considerados como um dos melhores ensaios semi-destrutivos na obtenção dessas mesmas propriedades;
- Permite trabalhar a recolha dos dados fundamentais para a obtenção dessas propriedades numa pequena amostra não alterada, suficientemente representativa da parede onde se pretenda a realização do ensaio e a **fiabilidade dos resultados obtidos** com este ensaio pode ser considerada compatível com a informação necessária para apoio da tomada das decisões que lhe estão relacionadas;
- Os ensaios de macacos planos reclamam experiência e perícia (exemplo: a precisão das leituras das distâncias entre miras no ensaio simples) no seu procedimento e ambas são fundamentais na obtenção dos resultados o mais fiáveis possíveis. As **particularidades mais importantes** que foram identificadas na aplicação deste tipo de ensaios a paredes de adobe, resultaram precisamente do crescente aumento do conhecimento do método do ensaio, da experiência que entretanto foi sendo desenvolvida, destacando-se as seguintes:
  - i) – **Dificuldade na fixação das miras** para os alinhamentos verticais no ensaio simples, com colas normais (por exemplo super-cola), em virtude da composição granulométrica dos adobes. Foi usada cola à base de resinas epoxídicas;
  - ii) – Não é aconselhável o **uso de máquinas de corte** (para realização dos rasgos para inserção dos macacos planos) a água para não alterar, significativamente, as características *in-situ* do adobe;
  - iii) – Dada a **fragilidade da secção onde são realizados os rasgos**, não é aconselhável retirar o macaco plano utilizado no ensaio simples para registo da área de carregamento após a conclusão deste, sob pena de danificar irremediavelmente uma parte da secção da parede onde se realiza o ensaio;
  - iv) – Com relativa facilidade são identificados os **registos de fissuração** na parede quando, sobre esta, estão sujeitos os maiores esforços que acontecem durante o ensaio.

### A incerteza associada ao coeficiente de correcção $K_a$ nos resultados dos ensaios

- Sendo o  $K_a$  um coeficiente de correcção que está directamente relacionado com a área de carregamento, de contacto, do macaco plano com a secção da parede (rasgo) onde é realizado o ensaio, é importante verificar até que ponto **a sua influência importa nos resultados obtidos** através dos ensaios simples e duplos, quando comparados com as expressões que lhe estão associadas (para o caso foi estudado o ensaio simples). Resultam do estudo efectuado numa parede construída para o efeito em blocos de adobe e do auxílio de um sistema de transmissão de cargas (actuador) sobre a parede, as seguintes conclusões:
  - i) – Há uma **componente de subjectividade** na técnica usada para o apuramento das áreas de carregamento (os registos obtidos não são exactos nos seus contornos) que transporta, dessa forma, algumas discrepâncias, não muito significativas, para o cálculo deste coeficiente. Esta componente de subjectividade deve-se ao facto da marcação com o papel químico não ser exacta o que dificulta a interpretação do contorno correcto da marcação;
  - ii) – **Ótima aproximação dos resultados** obtidos para este coeficiente (desvio em média de 2,5%) quando utilizadas as duas formas do estudo: cálculo através da equação (1) com o conhecimento de todas as cargas que concorriam na secção da parede ensaiada e pela realização do ensaio simples nessa mesma secção. Pode concluir-se que a formulação subjacente ao cálculo da tensão instalada (por dedução também para o cálculo da tensão de resistência à compressão) é ajustada.

### Estimativa da resistência à compressão de paredes de alvenaria de adobe

- Embora tenha sido determinado para este parâmetro do comportamento mecânico um possível valor de referência determinado pelo conjunto dos diversos ensaios duplos realizados, houve a curiosidade de o confrontar com a obtenção de outros valores determinados por outras formas, nomeadamente: ensaios duplos mas em paredes realizadas em laboratório para o efeito; cálculo pelo EC6 <sup>[14]</sup>; e por campanha de ensaios à compressão realizados em provetes extraídos dos mesmos blocos de adobe com os quais foram construídas as paredes em laboratório.

Relativamente aos **ensaios duplos realizados nas paredes em laboratório** verifica-se uma aproximação de valores muito significativa (0.43MPa e 0.40MPa nas paredes 1 e 2

respectivamente) o que permite aumentar a confiança quanto aos resultados obtidos na campanha de ensaios realizados no exterior.

Relativamente à estimativa da **resistência à compressão pelo EC6** <sup>[14]</sup>, constata-se que na parede 2 o valor obtido de 0.428MPa é muito mais aproximado (desvio de 6.5%), do valor obtido através dos ensaios duplos, do que o valor obtido para a parede 1 (0.940MPa) em que a diferença é mais significativa (desvio de 54.3%).

No caso dos **ensaios à compressão simples de provetes**, pese embora os resultados não sejam fáceis de comparar em virtude de uns serem realizados sobre uma parede de alvenaria (conjunto de blocos de adobe e argamassa) e os outros somente sobre uma secção (proвете) dos blocos de adobe, verifica-se mesmo assim uma clara correspondência entre a maior resistência à compressão simples apresentada pelos provetes retirados dos blocos de adobe da parede 1 e a maior resistência obtida também para a mesma parede tanto pelo cálculo pelo EC6 <sup>[14]</sup> como pelos resultados obtidos pelos ensaios duplos.

## 6.2 Perspectivas de trabalho futuro

O trabalho assim como todos os estudos que foram realizados permitiram identificar e motivar diversas perspectivas de linhas de desenvolvimento futuro. Indicam-se, de seguida, alguns trabalhos que interessa desenvolver:

- Alargar a campanha de ensaios de macacos planos a outras localizações na região de Aveiro, caracterizando assim dessa forma locais específicos escolhidos previamente quanto às características muito próprias do tipo de adobe utilizado;
- Realizar campanhas de ensaios de macacos planos em edifícios construídos com as outras técnicas de construção em terra, taipa e BTC fundamentalmente, comparando assim dessa forma quais as principais diferenças encontradas ao nível dos parâmetros de caracterização mecânica que os ensaios de macacos planos permitem obter;
- Aproveitar as potencialidades do ensaio de macacos planos e a relativa facilidade de operacionalidade em laboratório para a realização de uma maior amostra de ensaios em

paredes construídas, também em laboratório, com blocos de adobe de diferentes características (novas dimensões, adição de novos materiais compatíveis) e disposição dos mesmos em alvenarias com diferentes configurações (junta longitudinal, elementos cruzados, etc);

- Realizar vários módulos de paredes construídas em laboratório com iguais propriedades e estudar as diferenças ao usar macacos planos de secções diferentes;
- Aprofundar o estudo dos coeficientes correctivos  $K_a$  e  $K_m$  das equações do ensaio de macacos planos e desenvolver uma nova metodologia de captação e registo da área máxima de carregamento durante os ensaios simples e duplos;
- Confrontar estes resultados e correlacioná-los com outros ensaios a realizar em paredes de alvenaria de adobe, nomeadamente: ensaio esclerométrico; ensaio sónico; ensaio dilatómetro; ensaio com georadares.

---

## Referências bibliográficas

### A

Aguiar, J.; Reis Cabrita, A.M.; Appleton, J. (1989). *Manual de Apoio à Reabilitação dos Edifícios do Bairro Alto*; Câmara Municipal de Lisboa, LNEC.

Aguiar, J.; Reis Cabrita, A.M.; Appleton, J. (1998). *Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais*; Vol. 1 e 2, LNEC, Lisboa.

Alves, A. T. (1985). *Terra tierra earth terre (S.1.: s.n.)*; Trabalho académico (não paginado) encontrado no Arquivo do Departamento de Materiais de Construção da Escola de Arquitectura da UFMG.

ASTM (1991a). *In-situ* compressive stress within solid unit masonry estimated using flat-jack measurements, ASTM Standard C 1196-91.

ASTM (1991b). *In-situ* measurement of masonry deformability properties using the flatjack method, ASTM Standard C 1197-91.

### B

Binda, L.; Saisi, A.; Zanzi, L. (2003). *Sonic tomography and flat-jack tests as complementary investigation procedures for the stone pillars of the temple of S. Nicolo l'Arena (Italy)*; Journal NDT&E International, Vol. 36, pp. 215–227.

### C

Castro, A. (2009). *O Sistema Construtivo Tradicional em Período de Transição de Linguagens de Arquitectura: O Movimento Moderno e o Adobe*. Pós-Graduação em Reabilitação do Património Edificado – 1ª Edição (2008/2008), Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Carvalho, I. (2006). *Artigo de opinião intitulado “Construção com Terra em Portugal”*.

CEN (2005). Eurocode 6: Part 1-1 – General Rules for buildings – Rules for reinforced and unreinforced masonry, European Committee for Standardisation, Brussels.

Correia, M.. *Universalidade e Diversidade da Arquitectura de Terra*; 10ª Mesa Redonda de Primavera com o tema “Terra - Forma de Construir” – Escola Superior Gallaecia, Vila Nova de Cerveira

Costa, A.; Silva, A.; Costa, B.; Guedes, J.; Arêde, A. (2005). *Experimental assessment of the structural behaviour of a masonry wall under horizontal cyclic load*. 1<sup>st</sup> US-Portugal International Workshop - Grand challenges in earthquake engineering, Lamego, Portugal.

C., Abdunur (1983). *Stress and deformability in concrete and masonry*; IABSE Symposium on Strengthening of Building Structures – Diagnostic and Therapy, Venice, Italy.

## F

Figueiredo, A. P. (2009). *Caracterização de uma Solução de Reforço Sísmico de Paredes de Adobe*; Tese de dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

## G

Gutierrez, R. M. (1972). *La casa de adobe costarricense*. Costa Rica: Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. Serie Ingeniería y Arquitectura, nº5.

## H

Hernandez, R.; Enrique, L.; Luna, M. L. A.. (1983); *Cartilha de pruebas de campo para seleccion de tierras en la fabricacion de adobes*; México: Conescal, 72 p.

## J

Jorge, F. (2008). *Alentejo – Tera Actual*; Argumentum, Edições, Estudos e Realizações, Lda.

J. L. Noland, R. H. Atkinson, M. P. Schuller (1990); *A review of the flat-jack method for nondestructive evaluation*; Proc. Nondestructive evaluation of civil structures and materials, Boulder, USA.

## L

Lourenço, P.B. (1996). *Computational Strategies for Masonry Structures*; Ph.D. Dissertation, Delft University Press, The Netherlands.

Lourenço, P.B.; Rots, J.G. (1997). *Multisurface interface model for analysis of masonry structures*; Journal of engineering mechanics, ASCE, Vol. 123, No. 7, pp. 660-668.

Lourenço, P.; Gregorczyk, P. (2000). *Review on Flat-Jack Testing*; Revista do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, No. 9, Guimarães.

**M**

Martinez, E. A. (1979). *Manual para la construccion das viviendas con adobe*, (S.1.: s.n.); 16 p. (Cuadernos de Material Didático, 2).

Martins, H. T. (2009). *Caracterização Mecânica e Patológica das Alvenarias de Adobe*; Tese de dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

Milanez, A. (1958). *Casa de terra, as técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo*; São Paulo: SESP.

**N**

Neumann, J. V.; Bernales, J. B.; Blondet, M. (1984); *Resistência Sísmica de la mamposteria de adobe*; Lima: Pontificia Universidade del Peru, 19 p. (Publicacion 01-84.01. Série Difision).

**P**

Pagaimo, F. (2004). *Caracterização morfológica e mecânica de alvenarias antigas: Caso de estudo da vila histórica de Tentúgal*; Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra. (disponível em [www.civil.uminho.pt/masonry](http://www.civil.uminho.pt/masonry)).

Peixoto, P. (2006). *O passado ainda não começou. Funções e estatutos dos centros históricos no contexto urbano português*; Tese de Doutoramento, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Pereira, H. (2008). *Caracterização do Comportamento Estrutural em Adobe*; Tese de dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

Pereira da Costa, F. (1955). *Enciclopédia Prática da Construção Civil*; Edição do Autor, Depositária, Portugália Editora, Lisboa.

Pinto, F. (2004). *Revista Pedra e Cal*, nº24 (Out/Nov/Dez de 2004).

**R**

RILEM, LUM.D.2 (1990a). *In-situ stress tests on masonry based on the flat jack*.

RILEM LUM.D.3 (1990b), *In-situ strength/elasticity tests on masonry based on the flat jack*.

Roque, J. (2002). *Reabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria*; Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil.

Rocha, M. (2005). *Taipa na Arquitectura tradicional: técnica construtiva*; Arquitectura de Terra em Portugal, 1ª ed. Lisboa, Argumentum, ISBN 972-8479-36-0.

## S

Salvadori, M. (1990). *Perché Gli Edifici Stano In Piedi*. Ed. Fabbri, Etas Sp; Milano - Itália.

## T

Tabelas Técnicas – 5ª Edição (1962). *Técnica – Revista da associação de Estudantes do I.S.T.*; Lisboa, Portugal.

## U

UNESCO (1979). United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. World Heritage Council, Website: <http://whc.unesco.org>, consultado em Dezembro de 2009

## V

Varum, H. (2003). *Avaliação, reparação e reforço sísmico de edifícios existentes*; Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Portugal

Varum, H.; Vicente, R.; Rodrigues, H.; Mendes da Silva, J.A.R. (2006). *Seismic evaluation of old masonry buildings: Performance and strengthening*; The Eighth International Conference on Computational Structures Technology, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, 12-15 September.

Veloso, C. H. V.; Lara, D. S.; Faria Neto, J. L.; Saffar, J. M. E.; Pereira, N. T. Z. (1985); *Relatório parcial de acompanhamento do projecto «Estabilização de solos por processos físicos e físico-químicos para a construção de paredes de alvenaria ou monolíticos em habitações unifamiliares de baixo custo »*; Belo Horizonte : CETEC, 14 p..

## W

Wikipedia (2010). Website: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Adobe.unesco.org>, consultado em Dezembro de 2009

W. Qinglin e W. Xiuyi (1988). *The evaluation of compressive strength of brick masonry in-situ*; 8<sup>th</sup> Int. Brick/Block Mas. Conf., Dublin, Ireland.

## Z

Zavala, C.; Igarashi, L. (2007). *Propuesta de Reforzamento para Muros de Adobe*; Propuesta de tesis Facultad de Ingeniería Civil Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.





---

## **Anexo A Ensaio de caracterização mecânica: ensaios simples**

A.1 Organização dos resultados dos ensaios simples

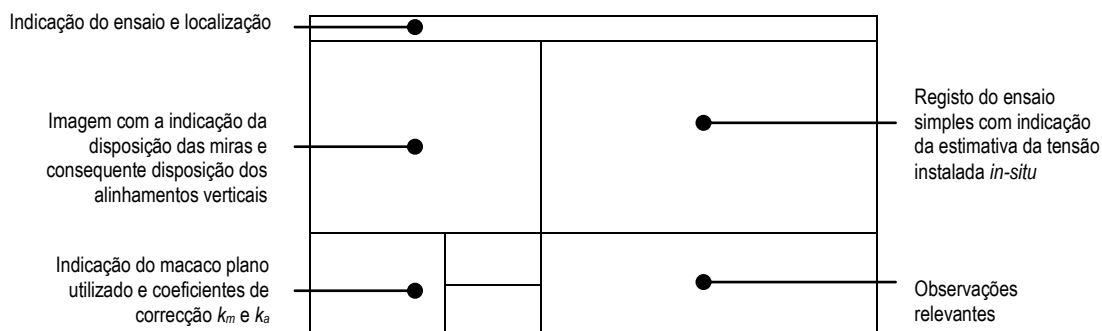
A.2 Resultados dos ensaios simples (2, 4, 6, 7 e 8)

## A1 - Organização dos resultados dos ensaios simples

Os ensaios com macacos planos permitem complementar a caracterização das paredes de alvenaria para além da inspecção visual. O estado de tensão estimado *in-situ* nas paredes é um aspecto importante na avaliação da segurança estrutural das construções antigas, no caso concreto de construções em paredes resistentes de alvenaria de adobe.

Foram apresentados no capítulo quatro os procedimentos tomados e os resultados obtidos nos ensaios simples 1, 3, 5 e 9. Os restantes ensaios simples são apresentados de seguida conforme a seguinte estrutura organizativa:

- Dos resultados dos ensaios simples, estima-se a tensão instalada nas paredes, importante na determinação do nível de segurança das construções, por comparação entre tensões instaladas/estimadas e tensões de cedência e rotura. Na figura A1 esquematiza-se a organização da informação adoptada neste anexo para este tipo de resultados:



**Figura A1:** Esquema com a organização da informação para o ensaio simples.

Nos quadros de resultados apresentados constam referências aos coeficientes  $k_m$  e  $k_a$  que têm o seguinte significado:

$k_m$  - coeficiente (adimensional) que reflecte a rigidez do macaco plano e o atrito do sistema hidráulico, determinado no procedimento de calibração de acordo com a norma [ASTM C1197-91, 1991b];

$k_a$  - coeficiente (adimensional) que define a relação entre a área do macaco e a área do rasgo.

## A2 - Resultados dos ensaios simples (2, 4, 6, 7 e 8)

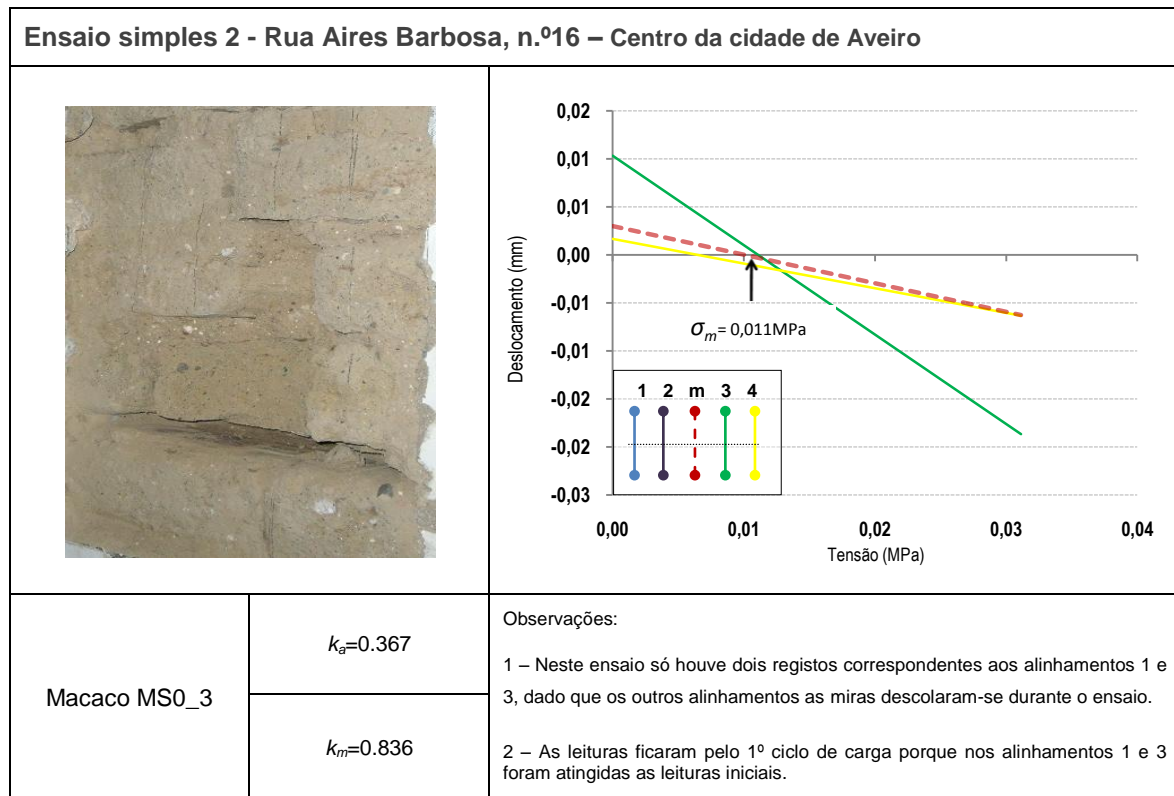


Figura A2: Resultados do ensaio simples 2.

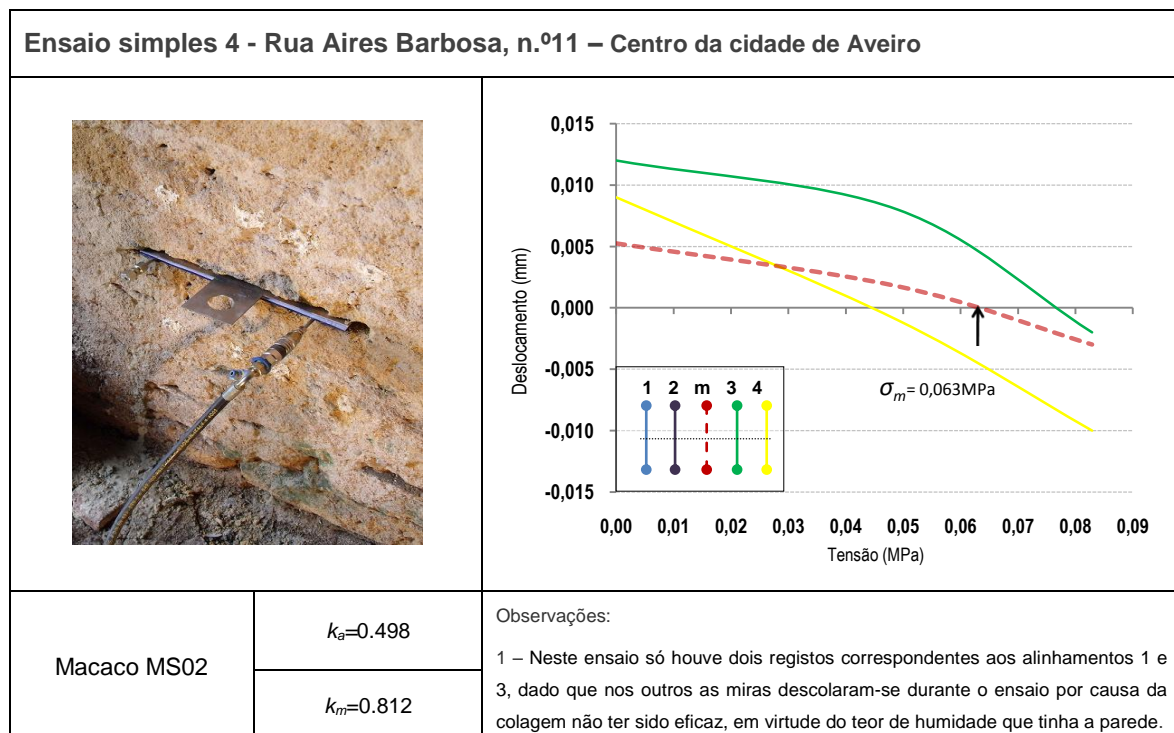
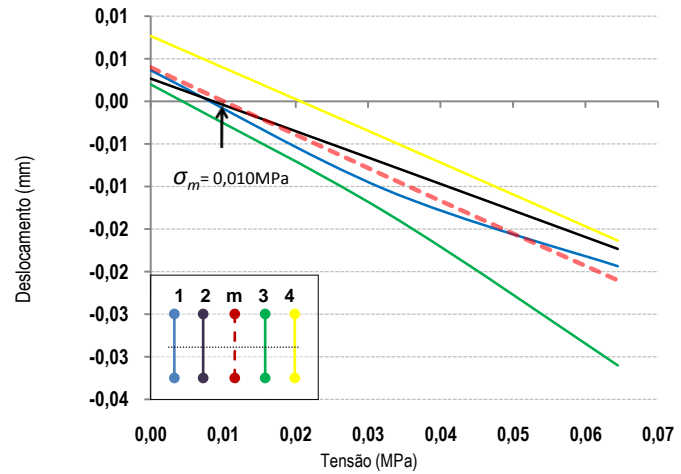


Figura A3: Resultados do ensaio simples 4.

**Ensaio simples 6 - Rua da Maritona, s/n.º – Oliveirinha**



Macaco MS02

$$k_a=0.389$$

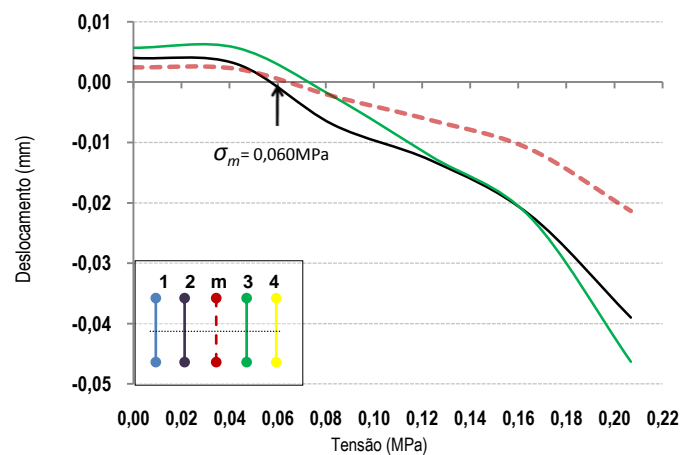
$$k_m=0.812$$

Observações:

1 – Houve alguma dificuldade na correcta fixação das miras, que definem os alinhamentos, porque foi usada super-cola e não resina epoxy.

**Figura A4:** Resultados do ensaio simples 6.

**Ensaio simples 7 - Rua da Maritona, s/n.º – Oliveirinha**



Macaco M02

$$k_a=0.495$$

$$k_m=0.830$$

Observações:

1 – O alinhamento 1 não foi considerado porque foi aplicado fora do alinhamento definido pela projecção das extremidades do macaco plano.

2 – As leituras do alinhamento 4 não foram consideradas por apresentarem um comportamento muito desviante dos restantes alinhamentos.

**Figura A5:** Resultados do ensaio simples 7.

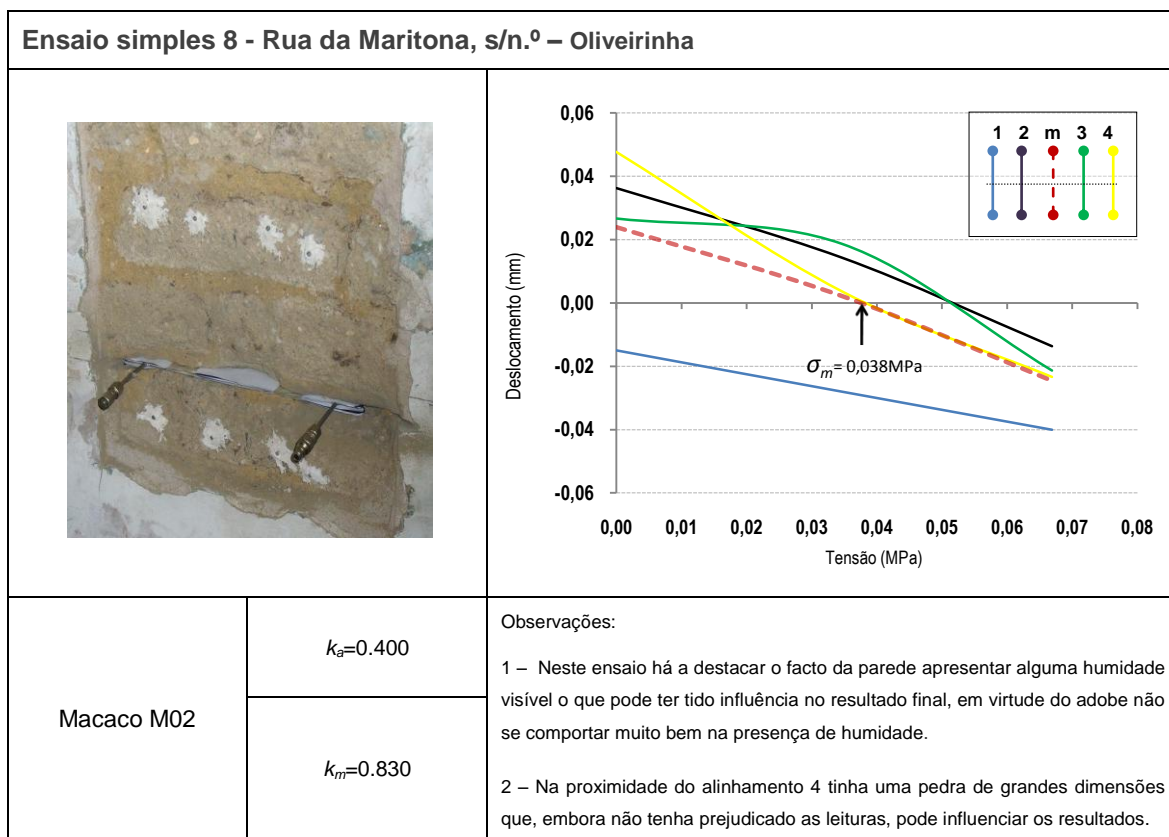


Figura A6: Resultados do ensaio simples 8.

**Anexo B**

**Ensaaios de caracterização mecânica: ensaios duplos**

---

---

## **Anexo B Ensaios de caracterização mecânica: ensaios duplos**

B.1 Organização dos resultados dos ensaios duplos

B.2 Resultados dos ensaios duplos (2, 4, 6, 7 e 8)

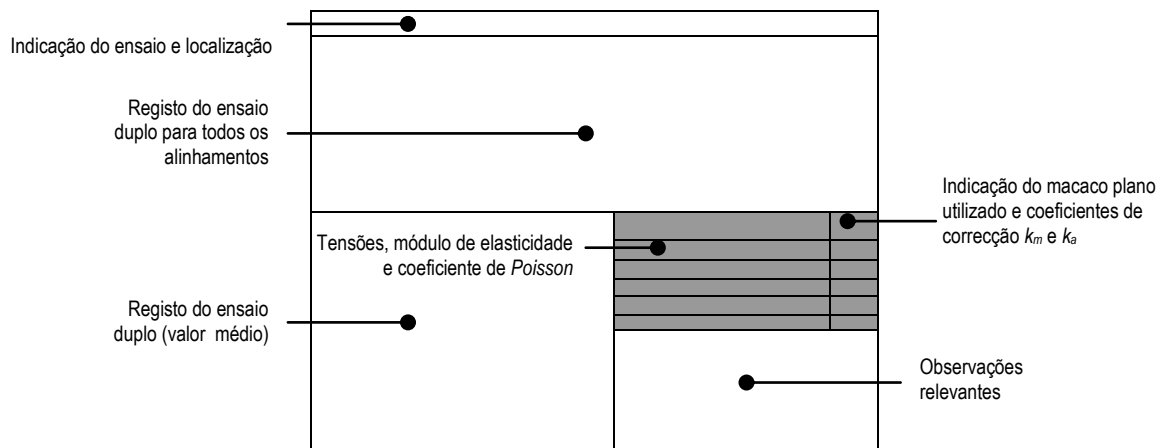


## B1 - Organização dos resultados dos ensaios duplos

Os ensaios com macacos planos, além de permitirem avaliar o estado de tensão estimado *in-situ* nas paredes através do ensaio simples, permitem também a obtenção de outros parâmetros importantes na caracterização mecânica das paredes onde são realizados os ensaios.

Foram apresentados no capítulo quatro os procedimentos tomados e os resultados obtidos nos ensaios duplos 1, 3, 5 e 9, sendo os restantes apresentados de seguida, conforme a seguinte estrutura organizativa:

- Dos resultados dos *ensaios duplos*, estima-se a tensão resistente em compressão, o módulo de elasticidade e o coeficiente de *Poisson* (nos ensaios onde foi possível obter registo do deslocamento horizontal). Na figura B1 esquematiza-se a organização da informação adoptada neste anexo para este tipo de resultados:



**Figura B1:** Esquema com a organização da informação para o ensaio duplo.

Nos quadros de resultados apresentados constam referências aos coeficientes  $k_m$  e  $k_a$  que têm o seguinte significado:

$k_m$  - coeficiente (adimensional) que reflecte a rigidez do macaco plano e o atrito do sistema hidráulico, determinado no procedimento de calibração de acordo com a norma [ASTM C1197-91, 1991b];

$k_a$  - coeficiente (adimensional) que define a relação entre a área do macaco e a área do rasgo.

## B2 - Resultados dos ensaios duplos (2, 4, 6, 7 e 8)

Nota: Os gráficos onde são representadas as curvas de tensão-extensão relativas aos diversos ensaios duplos, são apresentados em escalas diferentes com o intuito de facilitar a leitura do comportamento durante o ensaio dos vários ciclos de carga-descarga.

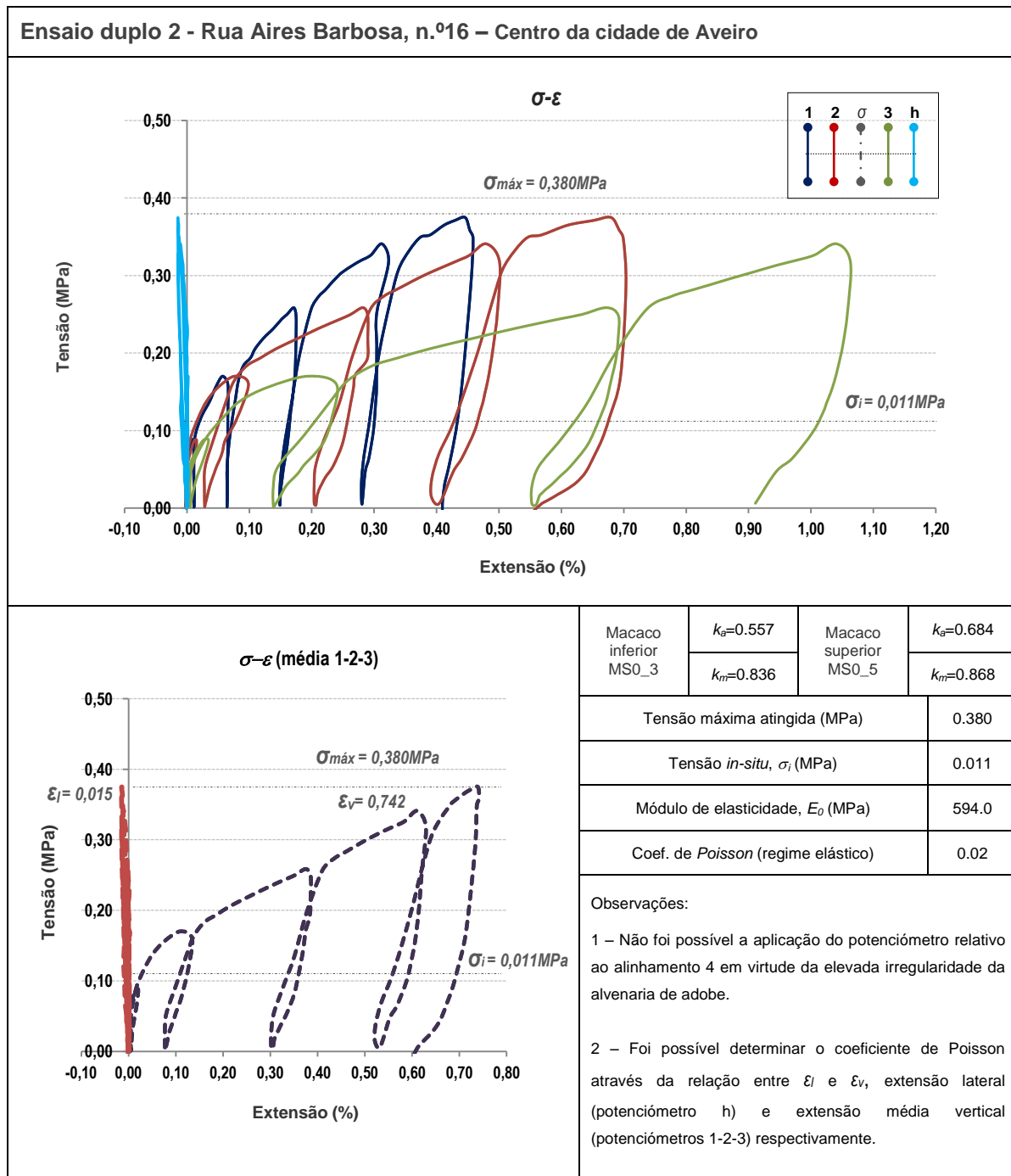


Figura B2: Resultados do ensaio duplo 2.

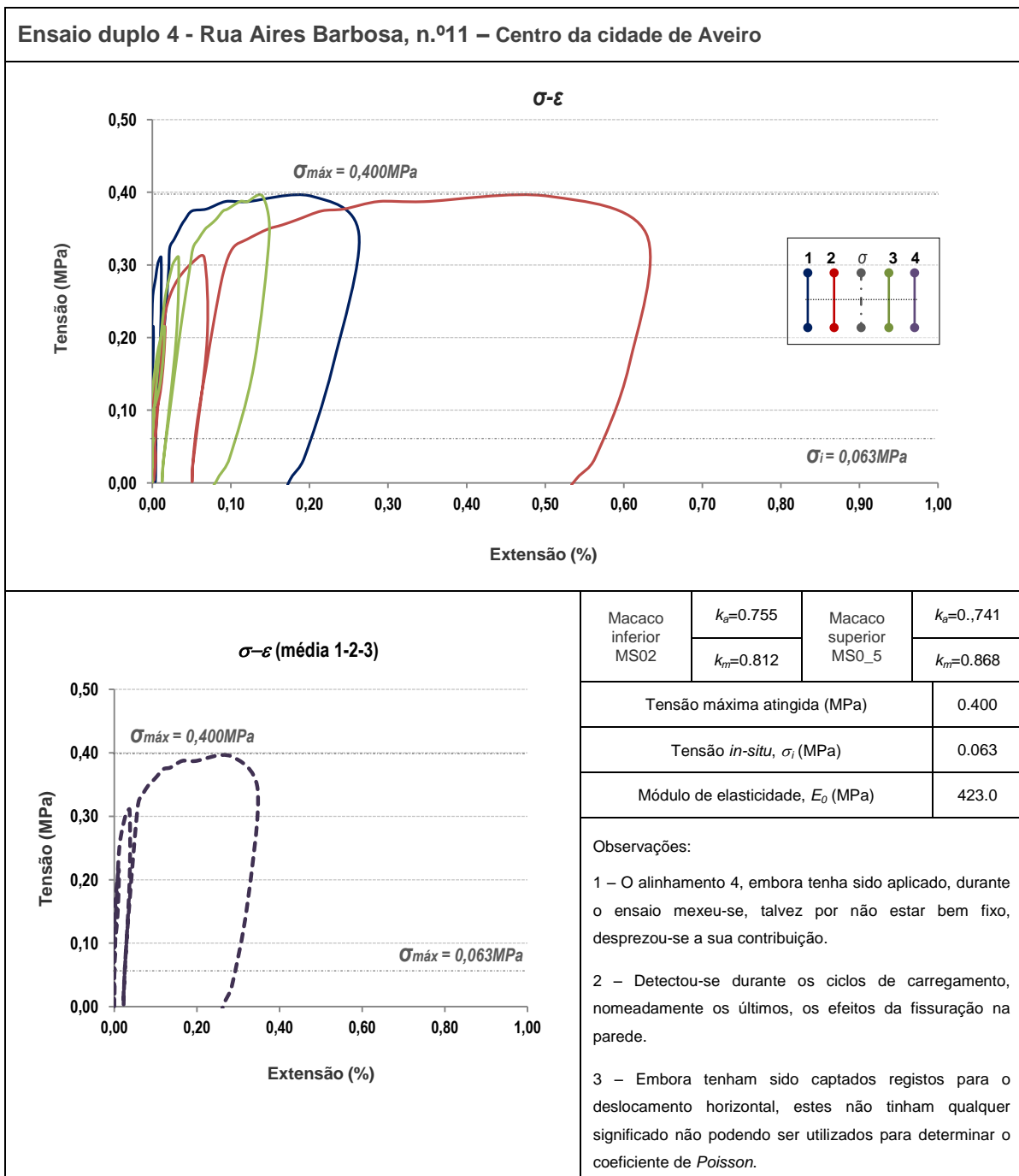
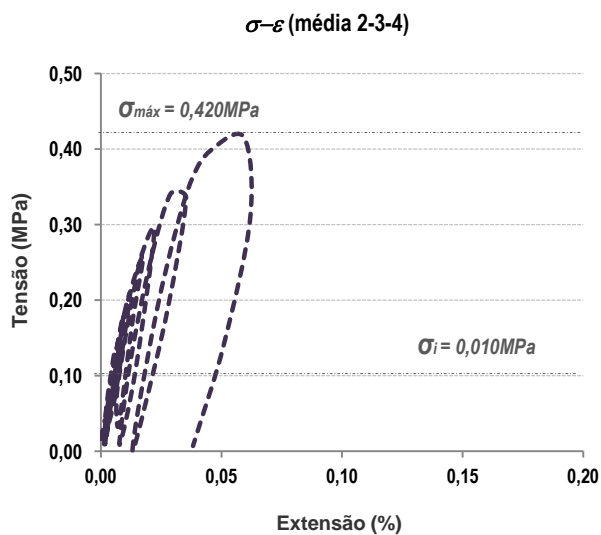
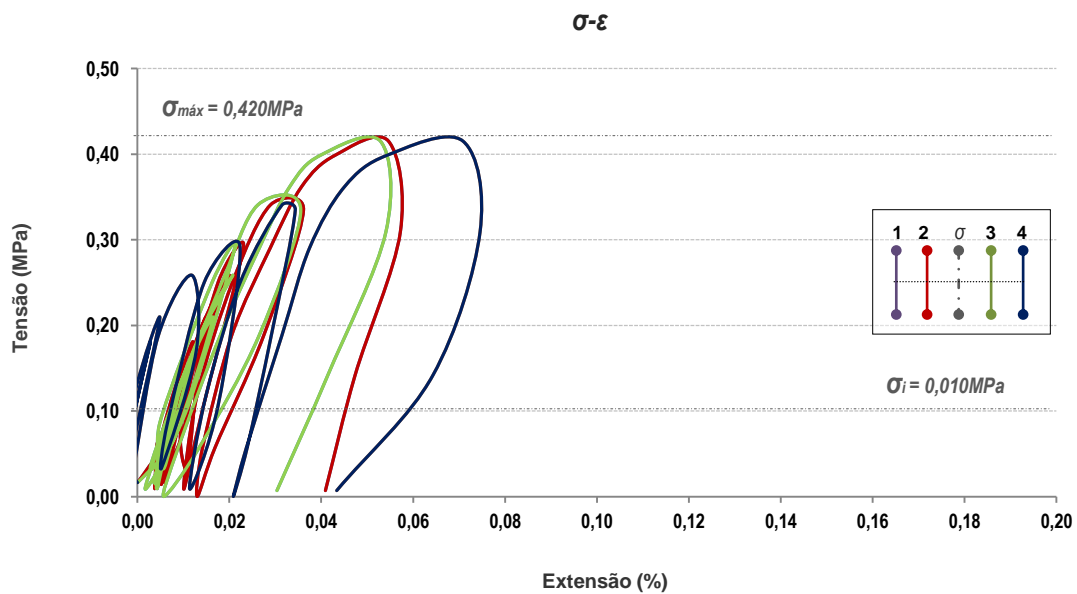


Figura B3: Resultados do ensaio duplo 4.

Ensaio duplo 6 - Rua da Maritona, s/n.º – Oliveirinha



Macaco inferior MS02	$k_g=0.589$	Macaco superior MS0_5	$k_g=0.826$
	$k_m=0.812$		$k_m=0.868$

Tensão máxima atingida (MPa)

0.420

Tensão *in-situ*,  $\sigma_i$  (MPa)

0.010

Módulo de elasticidade,  $E_0$  (MPa)

478.0

Observações:

1 – O alinhamento 1, embora tenha sido aplicado, durante o ensaio deve ter tido problemas porque os dados registados não eram lógicos, desprezou-se a sua contribuição.

2 – Não foi possível instalar o potenciômetro de controlo dos deslocamentos horizontais (irregularidade da superfície) pelo que não é possível determinar o coeficiente de *Poisson*.

Figura B4: Resultados do ensaio duplo 6.

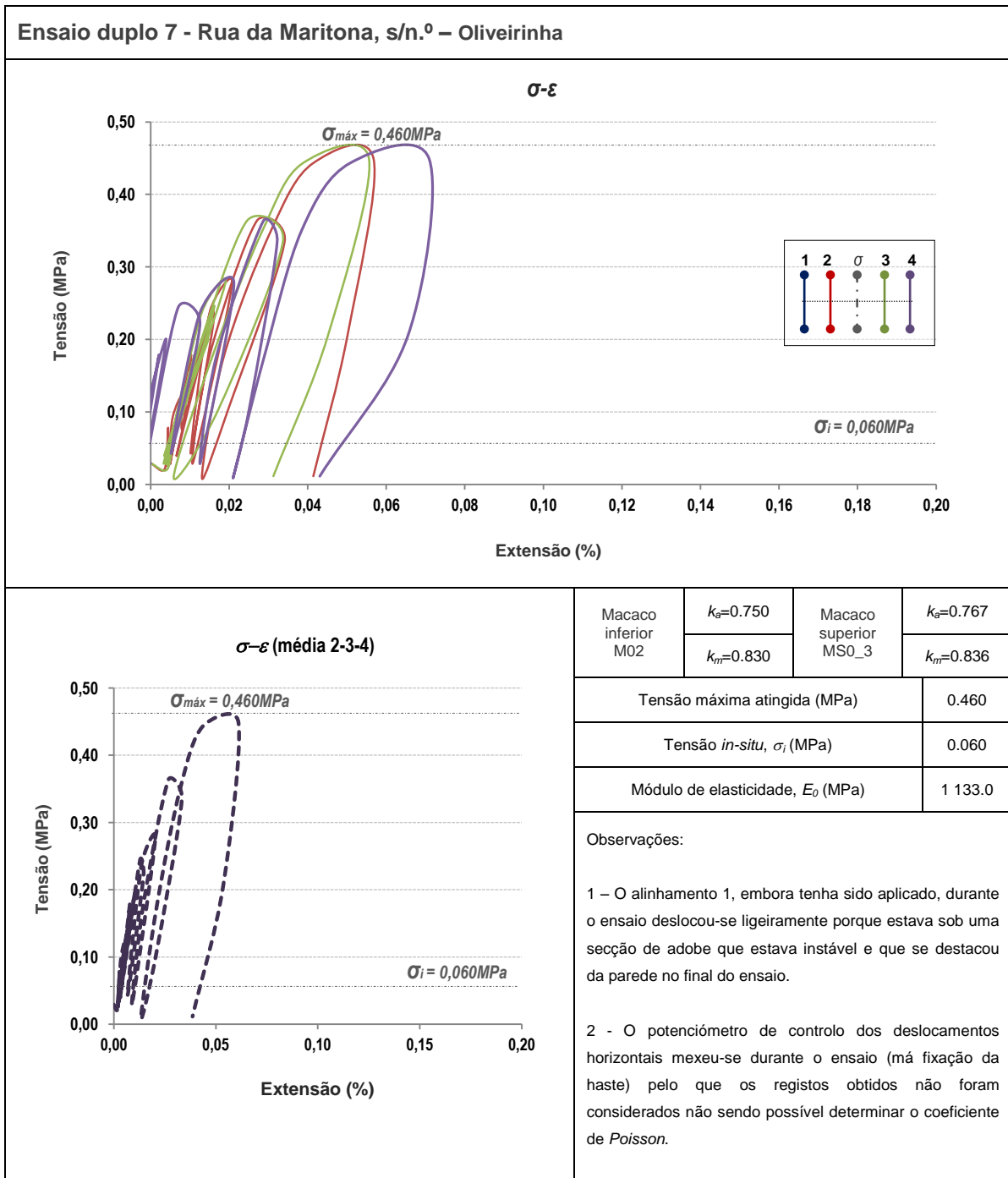
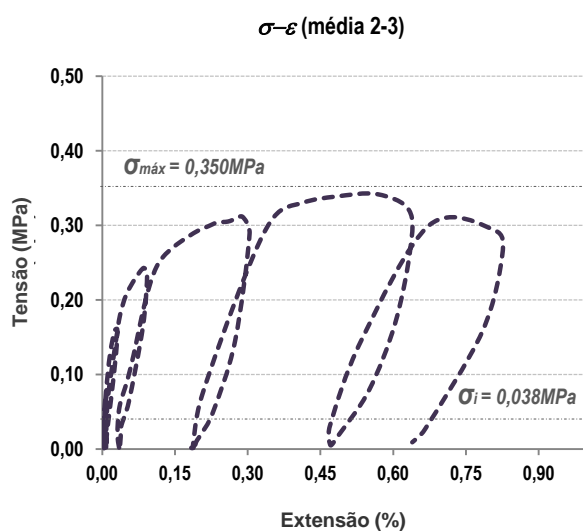
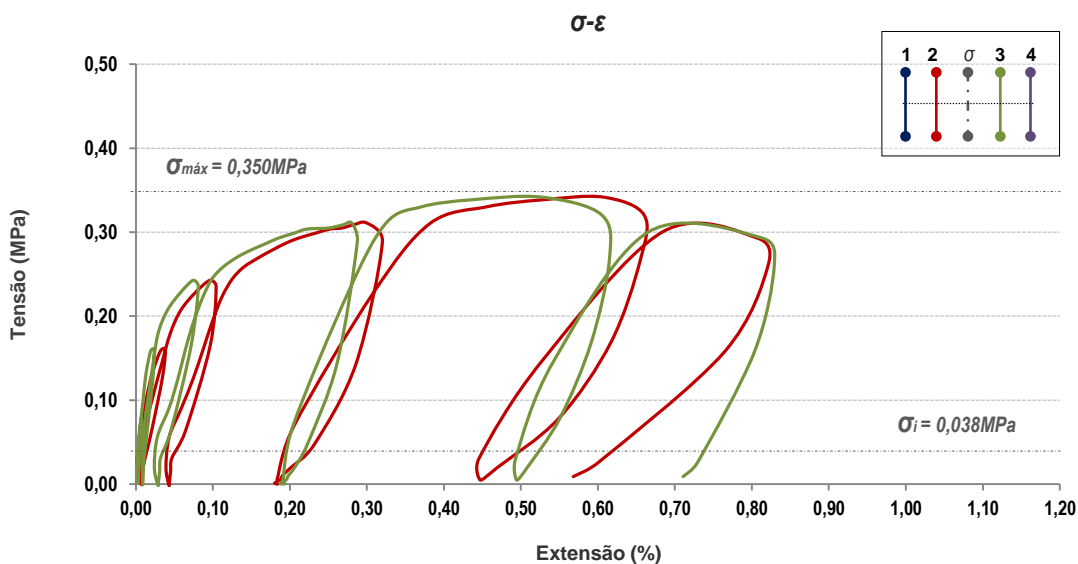


Figura B5: Resultados do ensaio duplo 7.

Ensaio duplo 8 - Rua da Maritona, s/n.º – Oliveirinha



Macaco inferior M02	$k_g=0.606$	Macaco superior MS0_3	$k_g=0.533$
	$k_m=0.830$		$k_m=0.836$
Tensão máxima atingida (MPa)			0.350
Tensão <i>in-situ</i> , $\sigma_i$ (MPa)			0.038
Módulo de elasticidade, $E_o$ (MPa)			712.0
Observações:			
1 – O alinhamento 1, embora tenha sido aplicado, durante o ensaio destacou-se da parede.			
2 – O alinhamento 4 foi aplicado na extremidade dos macacos e os dados registados não têm grande significado.			
3 – O potenciômetro de controlo dos deslocamentos horizontais mexeu-se durante o ensaio (má fixação da haste) pelo que os registos obtidos não foram considerados não sendo possível determinar o coeficiente de <i>Poisson</i> .			

Figura B6: Resultados do ensaio duplo 8.

## **Anexo C**

**Ensaio simples realizados na parede 2 no âmbito do estudo da influencia do coeficiente de  
correção  $K_a$**

---

---

## **Anexo C Ensaios simples realizados na parede 2 no âmbito do estudo da influência do coeficiente de correcção $K_a$**

C.1 Organização dos resultados dos ensaios simples no estudo da influência do coeficiente de correcção  $K_a$

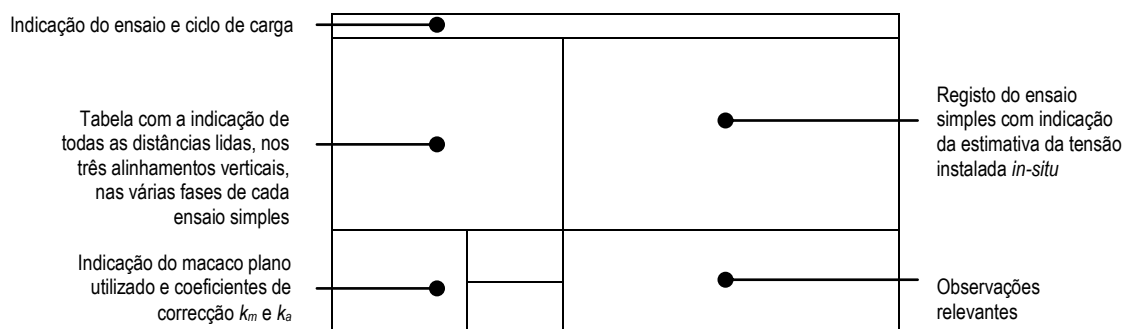
C.2 Resultados dos ensaios simples realizados na parede 2 (laboratório DEC-UA)



## C1 - Organização dos resultados dos ensaios simples no estudo da influência do coeficiente de correcção $K_a$

O estudo que foi encetado com o objectivo de avaliar a influência do coeficiente de correcção  $K_a$  na obtenção dos resultados nos ensaios de macacos (ensaio simples) e consequentemente verificara validade da expressão (1), foi realizado através da realização de um conjunto de ensaios simples realizados numa parede (parede 2) construída para o efeito no laboratório do DEC-UA e de forma contínua. Embora no corpo da dissertação sejam apresentados os principais resultados e sequentes conclusões, era importante apresentar, de forma resumida, os dados recolhidos que estiveram na sua origem.

São assim apresentados neste anexo as tabelas e os gráficos dos ensaios simples que foram realizados para os cinco ciclos de carga que foram realizados, assim como demais informação complementar, conforme a seguinte tabela apresentada na figura C1 que esquematiza a organização da informação adoptada neste anexo:



**Figura C1:** Esquema com a organização da informação para o ensaio simples nos diversos ciclos de carga.

Nos quadros de resultados apresentados constam referências aos coeficientes  $k_m$  e  $k_a$  que têm o seguinte significado:

$k_m$  - coeficiente (adimensional) que reflecte a rigidez do macaco plano e o atrito do sistema hidráulico, determinado no procedimento de calibração de acordo com a norma [ASTM C1197-91, 1991b];

$k_a$  - coeficiente (adimensional) que define a relação entre a área do macaco e a área do rasgo.

## C2 - Resultados dos ensaios simples realizados na parede 2 (laboratório DEC-UA)

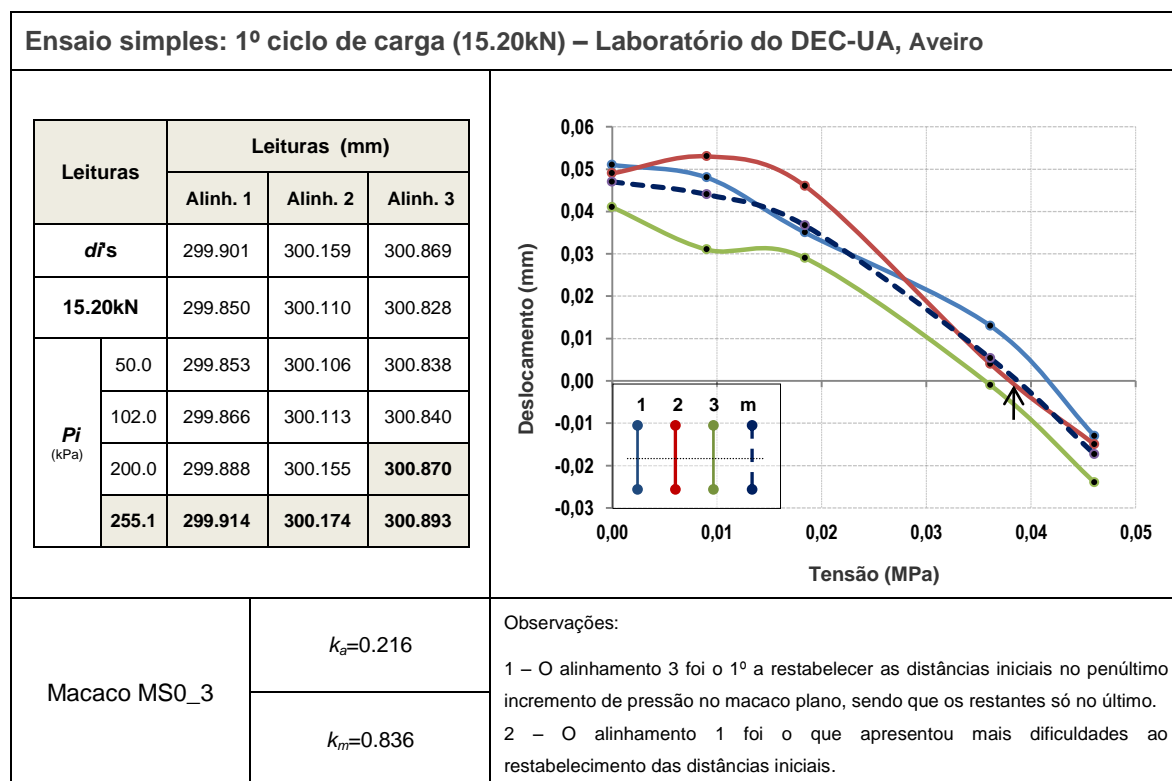


Figura C2: Resultados do ensaio simples do 1º ciclo de carga 15.20kN.

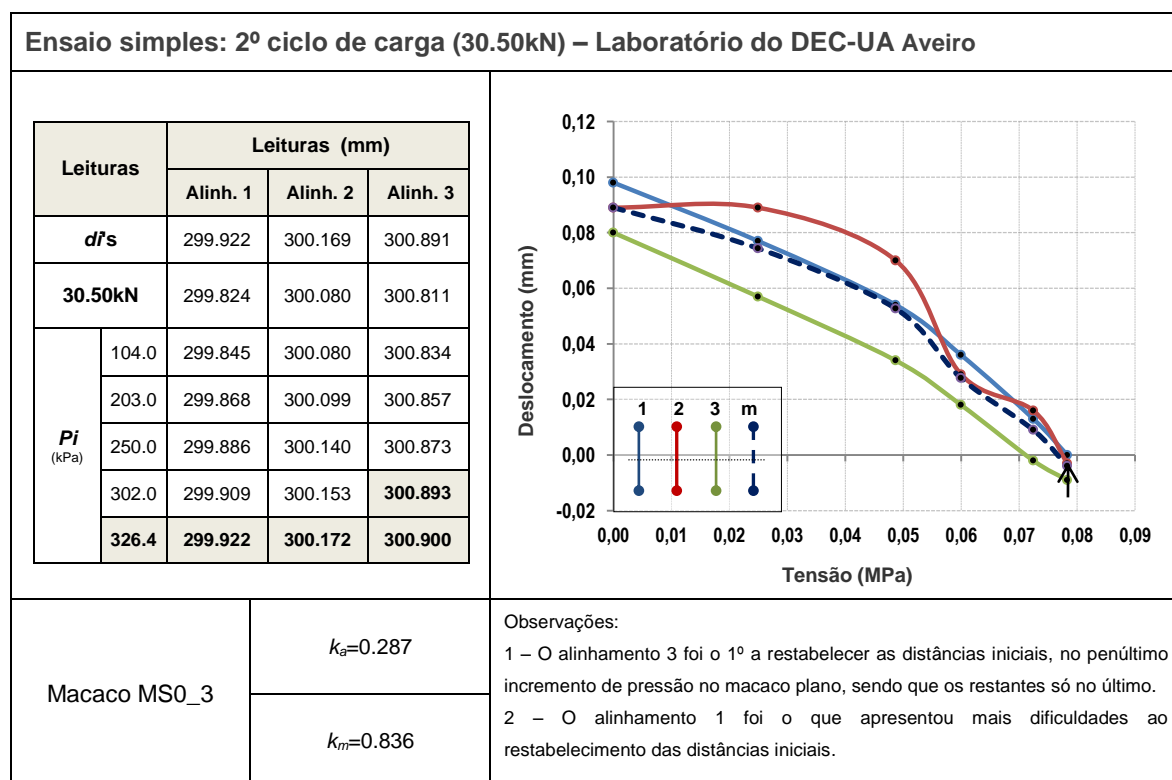
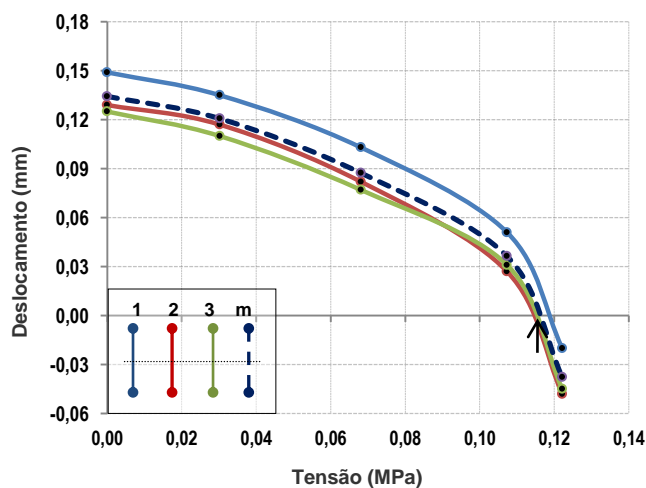


Figura C3: Resultados do ensaio simples do 2º ciclo de carga 30.50kN.

**Ensaio simples: 3º ciclo de carga (45.40kN) – Laboratório do DEC-UA Aveiro**

Leituras		Leituras (mm)		
		Alinh. 1	Alinh. 2	Alinh. 3
<b>d's</b>		299.905	300.143	300.880
<b>45.40kN</b>		299.756	300.014	300.755
<b>Pi</b> (kPa)	114.0	299.770	300.026	300.770
	257.0	299.802	300.061	300.803
	405.0	299.854	300.116	300.849
	<b>460.9</b>	<b>299.925</b>	<b>300.191</b>	<b>300.925</b>



Macaco MS0\_3

$$k_a=0.317$$

$$k_m=0.836$$

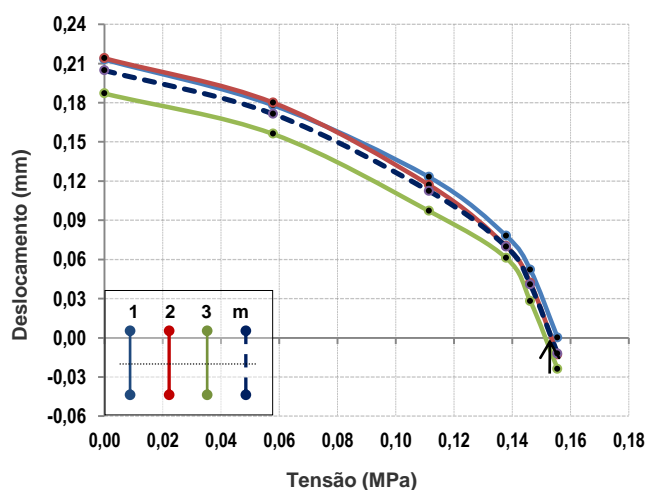
Observações:

1 – Comportamento muito uniforme de todos os alinhamentos, tendo sido atingido por todos em simultâneo o restabelecimento das distâncias iniciais, no último incremento de pressão dado ao macaco plano.

**Figura C4:** Resultados do ensaio simples do 3º ciclo de carga 45.40kN.

**Ensaio simples: 4º ciclo de carga (61.00kN) – Laboratório do DEC-UA Aveiro**

Leituras		Leituras (mm)		
		Alinh. 1	Alinh. 2	Alinh. 3
<b>d's</b>		299.888	300.120	300.874
<b>61.00kN</b>		299.675	299.906	300.687
<b>Pi</b> (kPa)	210.0	299.710	299.940	300.718
	404.0	299.765	300.003	300.777
	500.0	299.810	300.050	300.813
	530.0	299.836	300.078	300.846
	<b>564.0</b>	<b>299.888</b>	<b>300.133</b>	<b>300.898</b>



Macaco MS0\_3

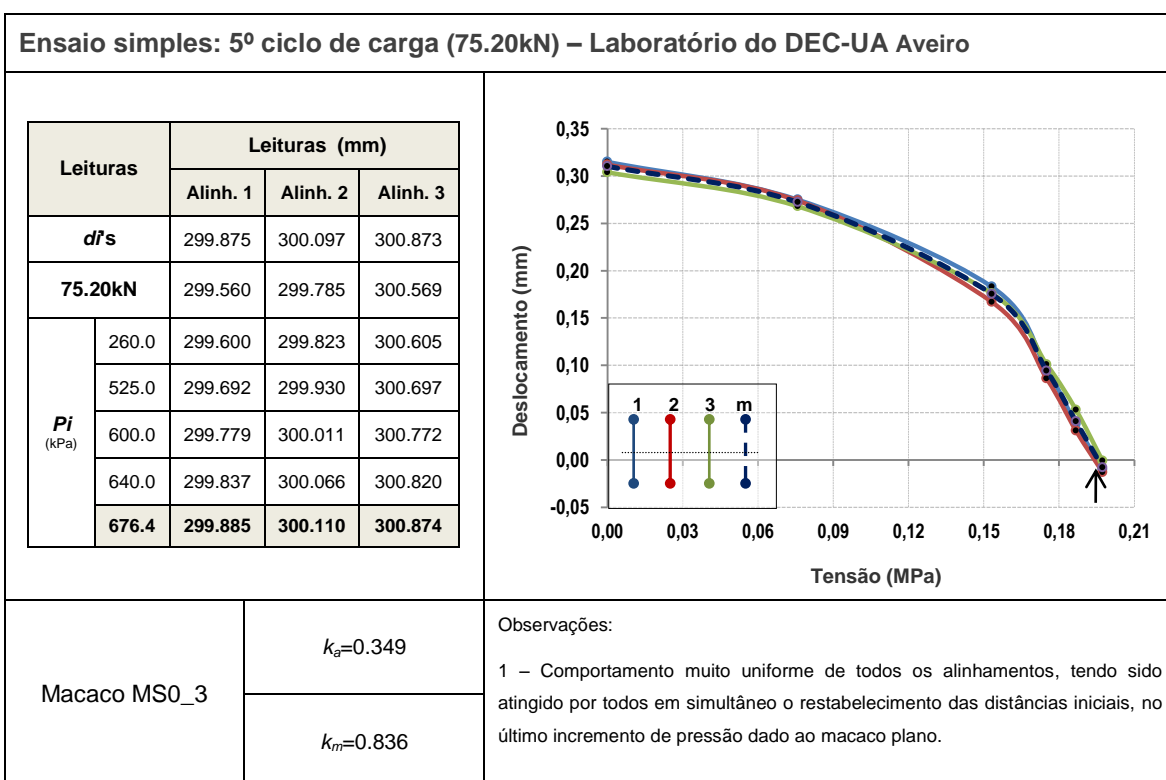
$$k_a=0.330$$

$$k_m=0.836$$

Observações:

1 – Comportamento muito uniforme de todos os alinhamentos, tendo sido atingido por todos em simultâneo o restabelecimento das distâncias iniciais, no último incremento de pressão dado ao macaco plano.

**Figura C5:** Resultados do ensaio simples do 4º ciclo de carga 61.00kN.



**Figura C6:** Resultados do ensaio simples do 5º ciclo de carga 75.20kN.